EINE EINFACHE METHODE ZUR VERGLEICHENDEN BEURTEILUNG VON KUNSTSTOFFÜLLUNGSMATERIALIEN UNTER KLINISCHEN GESICHTSPUNKTEN

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

WOLFGANG BENNINGHOFF und LOTHAR DAMM

1983

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543915_0078

Aus der Abteilung für
Prothetik und Defektprothetik
Direktor Prof. Dr. H. Böttger
der Westdeutschen Kieferklinik
Düsseldorf, Moorenstraße 5

EINE EINFACHE METHODE ZUR VERGLEICHENDEN BEURTEILUNG VON KUNSTSTOFFÜLLUNGSMATERIALIEN UNTER KLINISCHEN GESICHTSPUNKTEN

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Wolfgang Benninghoff und Lothar Damm

1983

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. G. Arnold

Referent
gez.: Prof. Dr. Rehberg

Korreferent
gez.: Prof. Dr. Schübel

Unseren Eltern

Wolfgang Benninghoff und Lothar Damm

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung

2. Materialkunde
2.1. Entwicklung der Kunststoff-Füllungsmaterialien
2.2. Werkstoffkundliche Grundlagen der Composites
2.3. Normen und Materialprüfung
2.4. Gesetzliche Grundlagen für klinische Prüfungen
2.5. Klinische Indikationsbreite der Composites aus heutiger Sicht

3. Qualitative Kriterien der Untersuchung
3.1. Abrasion
3.1.1. Definition
3.1.2. Ursachen
3.1.3. Mechanismen
3.1.4. Folgen der Abrasion
3.1.5. Methoden zur Bestimmung der Abrasion
3.2. Randschlußverhalten
3.2.1. Definition
3.2.2. Ursachen
3.2.3. Folgen von Randfehlern
3.2.4. Methoden zur Beurteilung des Randschlusses
3.3. Oberfläche
3.3.1. Ausarbeiten und Politur
3.3.2. Methoden zur Bestimmung der Oberflächengüte
3.4. Verfärbung

4. Vorversuche
4.1. Kavitätenpräparation
4.2. Anmischtechnik
4.3. Legen der Füllungen
4.4. Ausarbeiten der Füllungen
4.4.1. Zeitpunkt
4.4.2. Vorgehen

4.5. Vorversuche zur Dokumentation
4.5.1. Fotografische Dokumentation
4.5.2. Elektronenmikroskopische Dokumentation
4.5.3. Auswertung unter dem Stereoauflichtmikroskop
4.5.3.1. Grafische Dokumentation

5. Experimenteller Teil
5.1. Versuchsablauf
5.1.1. Herstellung der Prothesen
5.1.2. Verwendete Füllungsmaterialien
5.1.3. Präparation, Legen der Füllungen und Ausarbeiten
5.1.4. Durchführung der Kontrolluntersuchungen
5.1.5. Austausch der gefüllten Zähne nach Ablauf der Untersuchungszeit
5.1.6. Untersuchung des Schlußzustandes der Füllungen unter dem Stereoauflichtmikroskop nach Anfärbung mit Methylenblau
5.1.7. Zusammenfassende Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Versuche
5.2. Auswertung und Dokumentation

6. Diskussion der Ergebnisse
6.1. Farbbeständigkeit der Füllungen
6.2. Abrasionsverhalten der Füllungen
6.3. Randschlußverhalten der Füllungen
6.4. Schlußbemerkungen

7. Anhang
7.1. Tabellarische Auswertung der Versuchsergebnisse
7.2. Beispiele zur fotografischen Dokumentation
7.3. Beispiele zur elektronenmikroskopischen Dokumentation
7.4. Stereoauflichtmikroskop mit Beleuchtungseinheit
7.5. Versuchsprotokoll zur Dokumentation (mit Erläuterungen)
7.6. Randomliste

8. Literaturverzeichnis

1. Einleitung

Als vor etwa 35 Jahren die ersten zahnfarbenen Füllungsmaterialien auf Kunststoffbasis auf den Markt kamen, wurden sie zunächst mit großen Erwartungen aufgenommen. Endlich schien es möglich zu sein, bei einfacher Verarbeitbarkeit auch ästhetisch ansprechende Füllungen zu legen. In der Praxis stellten sich aber bald gravierende Nachteile heraus: die durch Quellung und mangelnde Abriebfestigkeit bedingte unzureichende Mundbeständigkeit und eine ausgeprägte Verfärbungstendenz führten bald zu einer generellen Ablehnung dieser ersten Präparate.
Seither sind die Füllungsmaterialien auf Kunststoffbasis beständig verbessert worden und die neueren Composite - Kunststoffe haben die früher allein verwendeten Silikat-Zemente im Frontzahnbereich schon seit Jahren praktisch vollständig ersetzt.
Mit den zuerst 1974 auf dem Markt erschienenen "mikrogefüllten" Composite-Kunststoffen schien ein weiterer großer Fortschritt gelungen zu sein: auf Grund ihrer verbesserten physikalischen Eigenschaften konnte man annehmen, nun in absehbarer Zeit zahnfarbene Füllungsmaterialien zur Verfügung zu haben, die eine Verwendung auch im Seitenzahnbereich erlauben und damit das Amalgam ersetzen könnten.
Bisher hat sich aber gezeigt, daß die bis heute zur Verfügung stehenden Materialien den zu stellenden Anforderungen noch nicht in jeder Hinsicht genügen (z. B. Abrasionsverhalten, Volumenbeständigkeit, Röntgenopazität). Es ist aber zu betonen, daß sowohl die konventionellen als auch die mikrogefüllten Composites trotz großer Fortschritte in ihrer Entwicklung noch keineswegs abgeschlossen sind. Es bleibt ein Hauptziel der aktuellen zahnärztlichen Forschung auf dem Gebiet der Materialentwicklung durch weitere Verbesserung der Composites auch für den Seitenzahnbereich uneingeschränkt verwendbare zahnfarbene Füllungsmaterialien zu entwickeln (102).

Um bei der Weiter- bzw. Neuentwicklung von Kunststoffüllungsmaterialien nicht in einer falschen Richtung weiterzuarbeiten haben sich klinische Testverfahren als unverzichtbar erwiesen. Das hat seinen Grund darin, daß es bisher nicht gelungen ist, die im Munde gegebenen Bedingungen durch Laborversuche mit ausreichender Genauigkeit zu simulieren. So standen in der Vergangenheit auf Laborversuchen begründete Annahmen über das Verhalten der Materialien unter Mundbedingungen häufig im Widerspruch zu anschließenden klinischen Erfahrungen (21, 25, 37, 51, 66, 78, 101).
Solche klinischen Tests sind darüberhinaus seit in Kraft treten des neuen Arzneimittelgesetzes am 01.01.1978 vom Gesetzgeber für Arzneimittel vorgeschrieben. Nach einem Beschluß der zuständigen Landesbehörden fallen unter die Definition der Arzneimittel auch die zahnärztlichen Füllungsmaterialien (§ 2, Abs. 1, AMG 76).
Durch diese Neueinstufung haben sich Schwierigkeiten ergeben, da die im Gesetz genannten Richtlinien in ihrer Zielrichtung auf die Prüfung von Medikamenten ausgerichtet sind. Auf dentale Füllungsmaterialien, die von ihrer Aufgabenstellung her keine medikamentöse Wirkung entfalten, sind solche Vorschriften nicht ohne weiteres anwendbar. Der Gesetzgeber hat noch keine speziell abgestimmten Prüfverfahren vorgesehen. Vor Beginn von klinischen Untersuchungen mit neuen Füllungsmaterialien müssen nach den zur Zeit geltenden Vorschriften zumindest geprüft werden:

1. akute Toxizität
2. Sensibilisierungspotenz
3. evtl. Kanzerogenität

Solche Untersuchungen sind zeitaufwendig und teuer. Da auch im Gesundheitswesen der Kostendruck eine zunehmend wichtige Rolle spielt, muß man, gerade auf dem vom Umsatz her begrenzten Dentalsektor, die Entwicklungskosten für neue Produkte möglichst niedrig halten, um den wirtschaftlichen Zwängen Rechnung zu tragen. Man wird diese unumgänglichen Untersuchungen also nach

Möglichkeit nur mit weiter- oder neuentwickelten Materialien durchführen, von denen man auf Grund anderer Untersuchungen annehmen kann, daß sie sich in der Praxis bewähren werden. Zu diesem Zweck werden Untersuchungsmethoden gebraucht, die bei möglichst geringem zeitlichen wie finanziellen Aufwand eine zuverlässige Vorauswahl erlauben, um nur mit den hierbei als besser erkannten Materialien die vom Gesetzgeber vorgeschriebenen aufwendigen Untersuchungen durchführen zu können.

Aus verschiedenen Gründen bietet es sich an, die zu untersuchenden Füllungsmaterialien in Prothesenzähnen, die vom Patienten als Zahnersatz getragen werden, zu testen:

1. Die im Zusammenhang mit herausnehmbaren Prothesen in den Mund des Patienten eingebrachten Werkstoffe fallen nicht unter die Definition des neuen Arzneimittelgesetzes. Damit werden die Untersuchungen durchführbar, ohne daß vorher umfangreiche und teure Untersuchungen über Toxizität, Sensibilisierungsgrad und Kanzerogenität durchgeführt werden müssen.
2. Die zu untersuchenden Materialien können im natürlichen Mundmilieu getestet werden, was eine höhere Aussagekraft gegenüber Laborversuchen erwarten läßt.
3. Eine Schädigung der Zähne des Patienten durch mögliche schädliche Auswirkungen der noch klinisch unerprobten Materialien ist nicht möglich.
4. Anzahl und Ausdehnung der Kavitäten sind nicht vom Zerstörungsgrad der natürlichen Zähne abhängig. Dadurch wird eine Standardisierung des Versuchsaufbaus möglich, die letztlich dessen Aussagekraft zugute kommt.
5. Der herausnehmbare Zahnersatz gewährleistet zu jeder gewünschten Zeit eine freie Zugänglichkeit der zu untersuchenden Füllungen für mikroskopische und andere Untersuchungsverfahren und läßt gegenüber der rein klinischen Untersuchung mit Spiegel und Sonde sowohl eine höhere Aussagegenauigkeit als auch einen früheren Zeitpunkt, zu dem auf Grund der verfeinerten Untersuchungsmöglichkeiten bereits Aussagen gemacht

werden können, erwartet.

6. Nach Ablauf der Untersuchungszeit können die gefüllten Prothesenzähne im Reparaturverfahren ersetzt werden. Sie stehen dann für weitergehende Untersuchungen, z. B. mit Hilfe des Elektronenmikroskopes, zur Verfügung.

In bereits durchgeführten Untersuchungen von Benedix und Bock (7) sowie von Clajus und Schubert (18) wurde die prinzipielle Brauchbarkeit eines solchen Verfahrens am Beispiel von Amalgamfüllungen bereits erwiesen.

Bei den Untersuchungen von Benedix und Bock (7) wurden okklusale Amalgamfüllungen in Kunststoffzähne einer Ok-Uk Vollprothese gelegt. Bereits nach einer Tragezeit von einem halben Jahr wurden erheblich stärkere Füllungsrandbrüche gefunden, als dies der klinischen Erfahrung entspricht. Zurückgeführt wurde dies auf den nicht genau bestimmbaren Einfluß der Kunststoffzähne, die mit ihrem Formverhalten unter Kaudruck, den Formveränderungen des Kunststoffs bei Temperaturschwankungen und ihrer Fähigkeit zur Quellung durch Wasseraufnahme den Versuchsablauf offenbar stärker beeinflußt hatten, als dies vor Beginn der Versuche erwartet worden war.

Clajus und Schubert (18) verwendeten neben den Kunststoffzähnen Keramikzähne im Uk-Seitenzahnbereich. Nach einer Tragzeit von 6 Monaten zeigten sich bei den in Kunststoffzähne gelegten Füllungen die gleichen Ergebnisse wie bei der vorausgehenden Arbeit von Benedix und Bock, während die in Keramikzähne gelegten Füllungen nur geringfügige Randfehler aufwiesen und damit in ihrem Verhalten den klinischen Erfahrungen besser entsprachen.

Ob die geschilderten Untersuchungsmethoden auch auf Kunststoffüllungsmaterialien anwendbar sind und ob sich nach hinreichend kurzer Untersuchungszeit (6-8 Monate) bereits eindeutige Ergebnisse erkennen lassen, soll die hier vorliegende Arbeit untersuchen.

2. Materialkunde

2.1 Entwicklung der Kunststoff-Füllungsmaterialien

Die Kunststoff-Füllungsmaterialien sind, im Gegensatz z. B. zu den Amalgamen, eine sehr junge Gruppe zahnärztlicher Werkstoffe, deren Anwendung erst um die Mitte unseres Jahrhunderts begann, und deren Entwicklung auch heute noch nicht abgeschlossen ist. 1942 begann die Entwicklung mit der Anwendung von Redox-Systemen, die es möglich machten, Monomere bei Mundtemperatur zu polymerisieren. Die praktische Anwendung begann im Jahre 1949 als die ersten bei Mundtemperatur aushärtenden Kunststoff-Füllungsmaterialien auf den Markt gelangten. Es handelte sich hierbei um reine Akrylate (Pulveranteil: PMMA-Polymer, Flüssigkeitsanteil: MMA-Monomer) (77), die wegen ihres zahnähnlichen Aussehens und ihrer Unlöslichkeit im Speichel im Vergleich zu den im Frontzahnbereich bis dahin allein gebräuchlichen Silikat-Zementen zunächst mit hohen Erwartungen aufgenommen wurden. Bald jedoch stellten sich gravierende Nachteile wie Pulpaschädlichkeit, unzureichende Farbbeständigkeit, erhebliche Polymerisationsschrumpfung mit dadurch bedingten Spaltbildungen am Füllungsrand, Quellung durch Wasseraufnahme aus dem Speichel und ungenügende Abrasionsfestigkeit unter Mundbedingungen heraus (77), die bald zu einer generellen Ablehnung der damaligen Präparate führten.
1952 kamen die sogenannten Resin-Zemente auf den Markt. Es handelte sich hierbei ebenfalls um Akrylate (Pulveranteil: PMMA-Polymer, Flüssigkeitsanteil: MMA-Monomer), die jedoch im Gegensatz zu den reinen Akrylaten verschiedene Füllstoffe enthielten. Diese sollten vor allem die Festigkeitseigenschaften des Materials verbessern. Hierbei wurden die Füllstoffe dem PMMA-Pulver beigemischt, aber die erhofften wesentlichen Verbesserungen der Materialeigenschaften konnten damit nicht erreicht werden (77).

Seit 1962 sind verbesserte Akrylate im Handel, die neue Aktivierungssysteme und spezielle Zusätze zum Monomer enthalten. Diese Maßnahmen brachten ein wesentlich günstigeres Verhalten dieser Materialien unter Mundbedingungen. So konnten die Verfärbungstendenz und die Randspaltbildung wesentlich vermindert werden. Dennoch erwiesen sich auch die verbesserten Akrylate auf längere Sicht, vor allem wegen mangelnder Abrasionsfestigkeit, als nicht ausreichend Mundhöhlenbeständig (77).

Um 1964 kam in den USA der erste sogenannte Composite-Füllungskunststoff auf den Markt. Der Nahme rührt daher, daß diese Materialien zusammengesetzt sind aus einer organischen Grundsubstanz und anorganischen Füllstoffen. Die organische Matrix dieser neuen Kunststoffgruppe basiert auf der von Bowen und Mitarbeitern entwickelten und 1962 patentierten Formel. Hierbei handelt es sich um eine Reaktion von Bisphenol A mit Glycidyl-Methacrylat (BIS/GMA). Bei den anorganischen Füllstoffen handelt es sich um durch Mahlprozesse gewonnene, 0,7 - 100 µm große Partikel aus Glas, Quarz oder Keramik (10, 19). Sie werden einer speziellen Vorbehandlung, der sogenannten Silanisierung, unterzogen, damit sie sich mit der Kunststoffmatrix verbinden. Diese Composite-Materialien stellten einen großen Fortschritt gegenüber den Akrylaten dar. Dennoch gab es einige Schwachpunkte wie z. B. unzureichende Polierbarkeit, noch immer recht große Abrasion und immer wieder beobachtete Verfärbungen. Diese Nachteile konnten im Rahmen der Weiterentwicklung z. B. durch Verwendung von kleineren anorganischen Füllern, Modifikationen im Katalysatorsystem und bei den Monomeren erheblich verringert werden. So zeigen diese Composites auch längerfristig zufriedenstellende Eigenschaften und werden auch heute noch im Frontzahnbereich eingesetzt.

1974 kamen erstmals Composite-Kunststoffe auf den Markt, die ausschließlich amorphe Kieselsäure als anorganische Füllstoffe enthielten. Hierbei handelt es sich um kolloiddispers

verteiltes SiO_2 mit Teilchengrößen zwischen 5 und 70 nm (mittlere Teilchengröße = 40 nm). Durch diese gegenüber den konventionellen Composites rund 100-200 mal kleineren Füllstoffe ist ein bis in den Mikrobereich homogener Aufbau des Materials möglich. Da die Teilchengröße der Füller um etwa den Faktor 10 geringer ist als die Wellenlänge des sichtbaren Lichts, sind diese Kunststoffe (wie die Akrylate) wieder hochglanzpolierbar. Die zudem erwartete, gegenüber den konventionellen Composites dauerhaft erheblich verbesserte, amalgamähnliche Verschleißfestigkeit im Munde konnte bisher nocht nicht erreicht werden (56). Die Forschungen auf diesem Gebiet mit dem Ziel, ein seitenzahntaugliches Composite zu entwickeln, sind zur Zeit in vollem Gang.

2.2 Werkstoffkundliche Grundlagen der Composites

Nach Definition der bisher gültigen oder vorläufigen Normen (ISO 4049 von 1978, ADA-Spezifikation Nr. 17 von 1977, DIN 13 922 von 1979) werden nur diejenigen Füllungsmaterialien auf Kunststoffbasis, die im erhärteten Zustand mehr als 50 Gewichtsprozent eines anorganischen Füllstoffs enthalten, unter dem Begriff "Composite" zusammengefaßt.
Vom Handel werden die Composite-Materialien in unterschiedlichen Zubereitungen angeboten. Vorwiegend die 2-Pasten-Systeme und auch verkapselte Komponenten haben sich in der Praxis bisher durchsetzen können.
Überblick über die grundsätzliche chemische Zusammensetzung der Composites nach Rehberg (18):

1. 20-30 % eines polymerisierbaren, relativ langkettigen Kunststoff-Monomers (z. B. BIS - GMA) und/oder Monomeren Gemisches mit kurzkettigen Monomeren.
2. 50-80 % feinst-pulverisierte anorganische und vorbehandelte Füllstoffe (z. B. silanisierter Quarz, keramische Gläser, feindisperse Kieselsäure bzw. Al_2O_3); bei einzelnen Präparaten auch organische Anteile (meist Homopolymere des verwendeten Monomers).
3. 0,5-3 % Polymerisationskatalysatoren (z. B. Benzoylperoxid), Kokatalysatoren (Reduktionsmittel wie z. B. tertiäre aromatische Amine).
4. 1-2 % eines Photoinitiators (z. B. ein Benzoinalkyläther) anstatt eines Kokatalysators bei UV- bzw. lichthärtenden Präparaten.
5. 0,01-0,1 % eines Polymerisationsinhibitors (z. B. Hydrochinonmonomethyläther).
6. 0,1- 1 % eines UV-Absorbers und/oder UV-Stabilisators (z. B. o-Oxybenzophenonderivate) in den chemisch aktivierten Composites.
7. 0-3 % Weichmacher (z. B. Phtalate).
8. Geringe Mengen an Farbstoffen.

Gegenstand von Veränderungen in den letzten Jahren bei der Entwicklung verbesserter bzw. neuer Materialien waren vor allem die Monomere, die Aktivierungssysteme, sowie die anorganischen Füllstoffe. So wurde z. B. versucht, zu weniger viskösen Monomeren zu kommen, als sie der Bowen-Ester (BIS-GMA) aufweist, in den nur nach Einstellen einer erniedrigten Viskosität durch aktive Verdünner ausreichende Mengen an Füllstoffen eingearbeitet werden können (11, 88).
Die im Aktivierungssystem chemisch aktivierter Kunststoffe vorliegenden tertiären Amine wurden als wichtiger Faktor bei der anfänglich häufiger zu beobachtenden Verfärbung erkannt. Hier wurde versucht, das Amin/Peroxyd Verhältnis in Bezug auf die Farbkonstanz der Materialien zu optimieren, chemisch modifizierte Amine (DEBA statt DEBT) anzuwenden, oder auch das Amin/Peroxyd System durch völlig andere UV-Absorber Systeme (z. B. Methyl-Thiourea-Peroxyd-System) zu ersetzen (4). Daß diese Bemühungen in den letzen Jahren zu einer erheblich verbesserten Farbbeständigkeit führten, konnten Vanherle und Lambrechts (46) zeigen.
Bei den anorganischen Füllstoffen zeichnet sich eine Tendenz zu immer feineren Teilchen ab, die am deutlichsten bei den neueren mikrogefüllten Composites (mittlere Teilchengröße etwa 40 nm) zum Ausdruck kommt. Zu Beginn der Composite-Ära verwendete man zunächst relativ grobe Füllstoffpartikel (10-50 µm). Dies hatte nach teilweisem Verlust der organischen Matrix ziehmlich rauhe Füllungsoberflächen zur Folge und auch die Abrasionsfestigkeit war nicht zufriedenstellend. Beide Eigenschaften konnten durch Verkleinerung der Füllstoffpartikel auf heute durchschnittlich 1-15 µm bei den konventionellen Composites positiv beeinflußt werden. Die Untersuchung der Abnutzungsmechanismen mit Hilfe des Elektronenmikroskops führte zu der Forderung, die Composites bis in den Mikrobereich hinein mechanisch homogen zu konstruieren, um durch dichtere Lagerung der Füller (größter Abstand 100-200 nm) die weichere organische Matrix

effektiv schützen zu können (40). Diese Forderung läßt sich aber mit konventionellen, durch Mahlprozesse gewonnenen Füllern (minimal 0,7 µm) nicht erfüllen (56, 40). Erst die mikrofeinen Füller haben dies bei homogener Verteilung der Füllstoffpartikel ermöglicht (40); dennoch waren die Ergebnisse, da bei den mikrogefüllten Composites andere Abrasionsmechanismen wirksam werden als bei konventionellen, nicht so gut wie erhofft. Ein weiteres Problem für Forschung und Weiterentwicklung ist die Schaffung einer ausreichend festen Bindung zwischen den anorganischen Füllstoffteilchen und der organischen Kunststoffmatrix. Ein solches Verfahren zur Verbindung anorganischer mit organischen Materialien ist unter dem Begriff der Silanisierung in der Industrie schon seit längerem bekannt und konnte in entsprechend angepaßter Form auch bei den Composite-Kunststoffen mit Erfolg angewandt werden. Hierbei werden auf die Oberfläche des Füllstoffs dünne Silizium-organische Schichten, sogenannte Silane, als Haftvermittler zwischen den anorganischen Füllstoffteilchen und der organischen Kunststoffmatrix aufgebracht. Schroeder (91) sieht in dieser Verbindung zwischen Füller und Matrix durch Silane ein Schlüsselproblem für die Mundbeständigkeit. Vor allem die Widerstandsfähigkeit dieser Verbindung gegen die im Munde auftretenden chemischen (z. B. Hydrolyse) und mechanischen (Druck- und Scherkräfte) Belastungen ist unter Langzeitgesichtspunkten noch nicht befriedigend. Wird die Verbindung über die Silanisierung gestört, so können Füllerpartikel leichter aus dem Verband mit der Kunststoff-Matrix gelöst werden (49, 75).

2.3 Normen und Materialprüfung

Die Dental-Material-Normen legen qualitative Mindestanforderungen für die zu prüfenden Erzeugnisse oder Materialien fest und dienen damit der Qualitätssicherung. Von einer Norm für Füllungskunststoffe wäre zu fordern, daß ihre Prüfvorschriften so ausgerichtet sind, daß alle sie erfüllenden Kunststoffe den klinischen Forderungen standhalten. Die in Deutschland z. Z. bestehenden Normen für Füllungskunststoffe sind (100):

1. Die DIN 13 922 für Kunststoff-Füllungswerkstoffe vom Februar 1979 (Entwurf).
2. Die internationale Norm ISO 4049 for Resin - based Filling Materials vom April 1978.

Beide Normen unterscheiden 2 Typen von Füllungsmaterialien, die sich durch den Gehalt an anorganischen Füllstoffen unterscheiden:

Typ 1: Gehalt an Füllstoffen $<$ 50 Gewichtsprozent
Typ 2: Gehalt an Füllstoffen $\geq$ 50 Gewichtsprozent

Nur Typ 2 mit einem Füllstoffgehalt von mindestens 50 Gewichtsprozent ist nach den Normen als Composite zu bezeichnen. In der DIN werden die Füllungskunststoffe vom Typ 2 noch weiter unterteilt:

Typ 2 a: die Matrix besteht im wesentlichen aus Methylmethakrylaten
Typ 2 b: die Matrix besteht im wesentlichen aus mehrfunktionellen Methakrylsäureestern

Nach der DIN sind folgende Kriterien mit im einzelnen vorgeschriebenen Meßmethoden zu prüfen (100):

1. Verarbeitung
   - Verarbeitungszeit
   - Abbindezeit
2. Festigkeitswerte
   - Biegefestigkeit
   - Biegemodul
3. Verträglichkeit gegenüber der Pulpa
   - keine Toxizität

4. Zahnähnlichkeit
   - Farbe
5. Farbstabilität
   - Farbbeständigkeit gegenüber Wärme und Licht

Andere wichtige Kriterien, von denen bekannt ist, daß sie das klinische Verhalten der Füllungskunststoffe zumindest mitbeeinflussen sind in den Normen, z. T. weil geeignete Meßverfahren nicht bekannt sind, noch nicht berücksichtigt.
Zu nennen ist hier zum Beispiel die Dimensionsstabilität des Füllungskörpers, die bei den Füllungskunststoffen bestimmt wird durch (100):

1. Polymerisationsschrumpfung
2. Expansion durch Wasseraufnahme
3. Den thermischen Expansionskoeffizienten
4. Elastisches Verhalten oder Fließen beim Auftreten äußerer oder innerer Spannungen

Weiter sind keine Normbestimmungen zur Abriebfestigkeit angegeben, da der klinisch beobachtete Substanzverlust sich bisher nicht in geeigneter Weise im Laborversuch simulieren läßt.
Auch Wasseraufnahme und Löslichkeit sind bisher nicht in den Normen erfaßt. Da auch diese Eigenschaften das Verhalten der Füllungswerkstoffe unter klinischen Bedingungen unter Umständen entscheidend beeinflussen, ergibt sich, daß über die zur Zeit gültigen Normen hinaus noch weitere Kriterien herangezogen werden müssen, wenn eine Qualitätsbeurteilung für das klinische Verhalten der Kunststoffüllmaterialien erfolgen soll. Unabhängig von den Normenvorschriften werden daher schon seit längerem zusätzliche Werkstoffuntersuchungen, meist ausgehend von klinischen Erfahrungen, durchgeführt. Vor allem aber Untersuchungen zur Abrasion, dem Randspaltverhalten und der Farbbeständigkeit können noch nicht durch Laborversuche ersetzt werden, da eine exakte Simulation der Mundbedingungen noch nicht möglich ist.

2.4 Gesetzliche Grundlagen für klinische Prüfungen

Gesetzliche Grundlage für die klinische Prüfung von zahnärztlichen Füllungsmaterialien sind die Verordnung über die Durchführung von klinischen Prüfungen (1971) und seit dem 01.01.1978 das neue Arzneimittelgesetz von 1976. Durch Entscheid der "leitenden Ministerialbeamten der deutschen Länder" als zuständiger Behörde sind auch die Zahnfüllungsmaterialien auf Kunststoffbasis den zulassungspflichtigen Arzneimitteln zugeordnet worden. In den Richtlinien über die Prüfung von Arzneimitteln sind die zahnärztlichen Materialien aber weder namentlich erwähnt, noch sind speziell angepaßte Prüfvorschriften oder Anforderungen bekannt. Dies führt zu erheblichen Unsicherheiten in Bezug auf das einzuhaltende Verfahren, da zahnärztliche Füllungswerkstoffe von ihrer ganzen Konzeption her nicht mit pharmakologisch wirksamen Medikamenten vergleichbar sind (79).
Die klinische Prüfung von Arzneimitteln ist an eine Reihe von Vorschriften gebunden, die vor ihrem Beginn erfüllt sein müssen. Vor allem die in diesen Richtlinien geforderten toxikologischen Unterlagen, die beim Bundesgesundheitsamt hinterlegt werden müssen, sind in ihrer Anwendung auf Dental-Materialien problematisch. Wie aus dem Wortlaut der Richtlinien hervorgeht, sind diese zur Prüfung von Arzneimitteln mit pharmakodynamischer Wirkung, also Medikamenten, erarbeitet worden. Genau in diesem Punkt unterscheiden sich aber die zahnärztlichen Füllungsmaterialien, da sie bewußt keine pharmakologischen Wirkungen haben sollen.
Die für den Dentalbereich zuständigen Stellen im Bundesgesundheitsamt haben aber bereits zu erkennen gegeben, daß die "Wirksamkeit" der zahnärztlichen Füllungsmaterialien nicht aus pharmakologischer, sondern aus zahnärztlicher Sicht, z. B. hinsichtlich Randschluß, Festigkeit, Abrasionsverhalten und anderer klinisch relevanter Merkmale beurteilt werden soll (Rehberg, pers. Mitt.). Dafür muß unter anderem die Erfüllung

der entsprechenden DIN- und ISO-Normen belegt werden (79). Darüberhinaus bleibt jedoch das Verlangen des Gesetzgebers, nicht nur die Wirksamkeit eines Arzneimittels, sondern auch seine Sicherheit und Unbedenklichkeit zu belegen. Hierbei ist die Frage einer eventuellen Resorption von Inhaltsstoffen aus dem Füllungsmaterial von entscheidender Bedeutung. Voraussetzung für eine Resorption ist jedoch, daß überhaupt Inhaltsstoffe aus der Füllung in Lösung gehen.
Die klinische Prüfung und Erprobung neu entwickelter Füllungsmaterialien ist aber seit in Kraft treten des neuen AMG eine der Voraussetzungen für die notwendige Zulassung beim Bundesgesundheitsamt.
Diese Untersuchungen sind teuer und können bei entsprechenden Ergebnissen dazu führen, daß das Präparat geändert werden muß. Das abgeänderte Präparat muß dann wieder den vorgenannten Untersuchungen unterzogen werden. Daran schließt sich dann noch die eigentliche klinische Prüfung mit einer Dauer von etwa 2 Jahren an. Insgesamt ergibt sich so eine starke zeitliche Verzögerung und finanzielle Belastung bei der Entwicklung neuer Präparate.
Es ist verständlich, daß dieses zeit- und kostenintensive Verfahren nicht mit jedem neuentwickelten oder abgeänderten Präparat durchgeführt werden kann, um dann nach der klinischen Prüfung feststellen zu müssen, daß es den praktischen Anforderungen nicht genügt. Die Notwendigkeit einer einfachen aber praxisnahen und zuverlässigen Vorauswahl, um nur mit den hierbei als besser erkannten Präparaten die genannten zeit- und kostenintensiven Untersuchungen durchführen zu können, leuchtet daher ein.
Diese momentan recht unübersichtliche Situation spiegelt sich auch in zwei gegensätzlich lautenden Gerichtsurteilen wieder: Während das Verwaltungsgericht Berlin mit Urteil vom 23.11.1981 die Einstufung der Kunststoffüllmaterialien als Arzneimittel und damit deren Zulassungspflichtigkeit bestätigte, kam das bayerische Verwaltungsgericht München in seinem Urteil vom

08.12.1982 zu der gegenteiligen Auffassung, daß es sich bei den Kunststoffüllungsmaterialien um Gegenstände handele, die damit auch keiner Zulassungspflicht beim Bundesgesundheitsamt unterliegen.

2.5 Klinische Indikationsbreite der Composites aus heutiger Sicht

Die Verwendung von Composite-Kunststoffen bei Füllungen im sichtbaren Frontzahnbereich ist heute unbestritten und aus der Praxis nicht mehr weg zu denken. Die Bemühungen, ihren Indikationsbereich durch ständige Verbesserung der Materialien auch auf den Seitenzahnbereich ausdehnen zu können und damit einen Ersatz für das auch heute noch meist verwendete Amalgam zu finden, sind in vollem Gang.
Lutz (56) formulierte 1980 Forderungen, die ein Kunststoff-Füllungsmaterial erfüllen müßte, um als Amalgamersatz akzeptiert werden zu können:

1. Amalgamähnliche Verschleißfestigkeit.
2. Formstabilität: keine plastische oder elastische Deformation.
3. Im Vergleich zu Amalgam deutlich verbesserte marginale Adaptation.
4. Für die Erkennung von Fehlern an den approximalen Stufen bzw. von Sekundärkaries ausreichende Röntgenopazität.
5. Technische einfache Verarbeitung.
6. Einfache, gegenüber Schmelz schonende Ausarbeitbarkeit.
7. Zahnähnliches Aussehen ohne Farbänderungs- oder Verfärbungstendenzen.

Auf Grund bisheriger klinischer und experimenteller Resultate steht fest, daß konventionelle Composites an Stelle von Amalgam für die Versorgung von Kavitäten der Klasse I und II nach wie vor nicht geeignet sind. Als Hauptgründe hierfür sind folgende Punkte zu nennen (56):

1. Ungenügende Verschleißfestigkeit.
2. Mangel an Daten über das Formverhalten.
3. Unsicherheiten in Bezug auf die marginale Adaptation wegen der beschränkten Anwendungsmöglichkeit der Schmelzätztechnik im Seitenzahnbereich und Schwierigkeiten bei der Verarbeitung.

4. Fehlende oder zu geringe Röntgenopazität.
5. Unbefriedigende Oberflächeneigenschaften.

Die oben angeführten Resultate gehen aus zum Teil mehrjährigen klinischen Untersuchungen folgender Autoren hervor:
Bow (9); Castagnola/Wirz (16); Gross (33); Hord (36); Hotz (37); Meier/Lutz (59); Moffa/Jenkins (61); Phillips et al. (71); Ramfjord et al. (76); Roulet et. al. (86, 87); Schroeder (90).

Bei den mikrogefüllten Composites und auch den Hybriden (konventionelle und mikrofeine Füllstoffe in einem Material kombiniert) besteht hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Seitenzahnbereich noch keine einheitliche Auffassung, die Tendenz geht jedoch eindeutig dahin, daß die bis heute verfügbaren Mikrofüller-Composites nicht für mehrflächige Füllungen im Seitenzahnbereich verwendbar sind. Allenfalls die Verwendung in kleinen okklusalen Kavitäten bei Patienten mit guten Mundhygienevoraussetzungen wird von einigen Autoren befürwortet, während Lutz (56), der sich intensiv mit der Entwicklung auf dem Gebiet der "Seitenzahn-Composites" beschäftigt hat, die bisher verfügbaren Präparate noch nicht im Seitenzahnbereich angewendet wissen will. Die Entwicklung auf diesem Gebiet ist sicher noch nicht abgeschlossen, aber beim jetzigen Stand bleibt als unbestrittener Indikationsbereich auch für die Mikrofüller-Composites und Hybride nur der sichtbare Frontzahnbereich.

3. Qualitative Kriterien der Untersuchung

Klinische Untersuchungen von Füllungswerkstoffen richten ihr Augenmerk auf andere Parameter als Laboruntersuchungen. Hier werden nicht die "technischen Daten" eines Füllungswerkstoffs wie Härte, Bruchfestigkeit, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul untersucht, sondern das klinische Verhalten der Materialien in ihrer eigentlichen Funktion unter möglichst praxisnahen Bedingungen über einen längeren Zeitraum hinweg beurteilt. Auf welche Gesichtspunkte bei den verschiedenen Materialien besonderes Augenmerk zu richten ist, entspringt hierbei viel öfter allgemeinen klinischen Erfahrungen als wissenschaftlich vorher begründbaren Erwartungen. So haben sich auch bei den Kunststoffüllungsmaterialien im Laufe der Jahre bestimmte Beurteilungskriterien herauskristallisiert, die bei einer klinischen Untersuchung zu berücksichtigen sind. Es sind dies vor allem die Beurteilung von Abrasion, Randschlußverhalten, Oberflächenstruktur und Verfärbung.

3.1 Abrasion

3.1.1 Definition

Unter dem Begriff der Abrasion können für Composites alle Vorgänge zusammengefaßt werden, die im Laufe der Funktionszeit zu einem Substanzverlust an der Füllungsoberfläche führen. Für die Composites hat sich nämlich gezeigt, daß auf Grund ihrer sehr geringen Löslichkeit Substanzverluste durch chemisch bedingte Auflösung gegenüber der Abrasion keine Rolle spielen (83). Dieser Substanzverlust an der gesamten Füllungsoberfläche ist eine aus zahlreichen klinischen Beobachtungen bekannte typische Eigenschaft der bisherigen Composite-Materialien (52, 62, 64, 67, 73, 97).
Nach Tragezeiten von eineinhalb bis zwei Jahren sind diese Substanzverluste häufig schon so ausgeprägt, daß klinisch Stufenbildungen zwischen Zahnoberfläche und der im Ganzen er-

niedrigten Füllungsoberfläche zu bemerken sind. Dieses vom Amalgam abweichende Abrasionsverhalten der Composites in vivo ist eine der Eigenschaften, die sie für okklusionstragende Füllungen im Seitenzahnbereich ungeeignet machen, und die auf Grund der guten Festigkeitswerte bei Laboruntersuchungen nicht erwartet worden war.

3.1.2. Ursachen

Für den bei klinischen Untersuchungen beobachteten Substanzverlust von Composite-Füllungen lassen sich verschiedene Ursachen benennen:

1. Ursachen, die von außen auf die Füllung einwirken:
   a. direkte Abradierung durch den Gegenzahn (=Attrition),
   b. Abschleifung durch Nahrungsmittel im Rahmen der Kaufunktion (=Demastikation),
   c. mechanische Beanspruchung im Rahmen von Mundpflegemaßnahmen (=Zähneputzen),
   d. chemische Einflüsse aus dem Mundmilieu, die Wirksamkeit und Angriffspunkte der vorgenannten Ursachen beeinflussen.
2. Ursachen, die in der Füllung selbst begründet sind und das Material anfälliger gegen die äußeren Einflüsse machen:
   a. nicht ausreichend homogene Füllungsstruktur, z. B. durch Lufteinschlüsse beim Anmischen von 2-Pasten-Systemen (28, 6)
   b. Schwächen bei der durch Silanisierung vermittelten Haftung zwischen Kunststoffmatrix und anorganischen Füllstoffen (91, 49, 75),
   c. nicht vollständig ausgehärtete Füllungsoberflächen durch Zutritt von Sauerstoff während der Aushärtung mit Bildung einer oberflächlichen Inhibitionsschicht (27).

3.1.3. Mechanismen

Indirekte Analysen der Oberfläche von Composite-Füllungen anhand von Replikas im Elektronenmikroskop haben Hinweise auf die bei der Abrasion von Composites wirksamen Abbaumechanismen geben können:

Bei den konventionellen Composites wird am häufigsten ein starker Verschleiß der organischen Matrix mit schrittweiser Freilegung der anorganischen Füllstoffpartikel beobachtet. Diese werden dann durch auftretende Belastungen entweder zertrümmert oder aus der organischen Matrix herausgelöst. Die herausgebrochenen, losen Füller und Füllerteile wirken zusätzlich abrasiv, wenn sie auf der Füllungsoberfläche liegen bleiben (37, 41, 45, 60, 65, 83, 97). Bei den konventionellen Composites gilt vor allem die Verbindung zwischen organischer Matrix und anorganischen Füllstoffen als Schwachpunkt. Beim Aushärten dieser Füllungsmaterialien wird wegen der Polymerisationsschrumpfung der ungefüllten organischen Matrix der durch Silanisierung primär erzielte Verbund zum Teil bereits Spannungen unterworfen (56). Infolge von Hydrolyseprozessen und wegen der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von Füller und Matrix bricht die Verbindung unter wiederholten mechanischen und thermischen Belastungen zusammen und die typischen Risse an den Phasengrenzen treten auf (56).
Bei mikrogefüllten Composites und auch den Hybriden treten z. T. andere Verschleißmechanismen in Erscheinung: teils erfolgt ein flächenhafter Abrieb, ohne daß eine Trennung in die einzelnen Bestandteile beobachtet werden kann, in Attritionszonen treten z. T. Risse und Ausbrüche kleiner Füllungsteile auf, bei einigen Fabrikaten sind auch Phasentrennungen ähnlich wie bei den konventionellen Composites zu beobachten (56).

3.1.4. Folgen der Abrasion

Durch den Substanzverlust an Füllungsmaterial kommt es zur bekannten Stufenbildung zwischen Zahnoberfläche und Füllungsoberfläche. Das kann zu vermehrter Plaqueretention mit all ihren nachteiligen Folgen führen. Im Seitenzahnbereich bedingt der Substanzverlust den Verlust der zentrischen Abstützung

mit den bekannten Folgen. Durch Abrasion wird außerdem die Oberflächenstruktur der Füllung verändert. Dadurch können sich leichter exogene Pigmente einlagern und Verfärbungen ausbilden.

3.1.5. Methoden zur Bestimmung der Abrasion

Prinzipiell bestehen unterschiedliche Möglichkeiten, das Abrasionsverhalten der Kunststoffüllungsmaterialien zu prüfen:
1. Versuche in vitro
2. Klinische Versuche am Menschen
zu 1.
Da Aufbau und Durchführung von Laborversuchen zur Bestimmung von Abrasion relativ einfach sind, waren es auch zunächst die am häufigsten angewendeten Untersuchungsverfahren. Roulet (83) gibt in seiner Arbeit einen Überblick über die angewandten Methoden:
Am weitesten verbreitet sind Verfahren, die mit Hilfe von Nylonbürsten und abrasiven Zubereitungen wie Zahnpasten oder Suspensionen von Bimssteinpulver und Schlämmkreide in Wasser einheitlich hergestellte Composite-Prüfkörper abradieren und den Substanzverlust nach unterschiedlichen Einwirkungszeiten bestimmen. Dies geschieht meist durch Wägung oder fortlaufende Dickemessungen an den Prüfkörpern. Untersuchungen dieses Typs wurden von vielen Autoren durchgeführt: Hollenback (35); Peterson (68); Shell (93) 1966; Gotfredsen (32) 1969; Lee et al. (49) 1974; Hotz (37) 1975.
Die Ergebnisse dieser Versuche lassen sich wie folgt zusammenfassen: unter den geschilderten Versuchsbedingungen wurden Prüfkörper aus Amalgam meist stärker abradiert als solche aus Composite-Material. Dies stand in deutlichem Widerspruch zu allen klinischen Erfahrungen und machte deutlich, daß solche Versuchsanordnungen nicht geeignet sind, das Abrasionsverhalten der Composites unter klinischen Bedingungen voraussehen zu können.

Ein abgewandeltes Verfahren besteht darin, als Schleifmittel keine feinkörnige Suspension, sondern makroskopische Festkörper auf den Proben schleifen zu lassen. Auch diese Versuche wurden von mehreren Autoren vorgenommen: Lee et al. (48) 1969; Lugassy/Greener (53) 1972; Powell (74) 1972; O'Neal/Eames (66) 1973; Hotz (37) 1975.
Bei einigen dieser Untersuchungen wurde zwar gefunden, daß die Composite-Proben stärker abradiert wurden als Amalgam, je nachdem, welche Festkörper verwendet wurden und je nachdem, ob trocken oder naß gearbeitet wurde, waren die Ergebnisse aber recht unterschiedlich und teils auch widersprüchlich. Darüberhinaus läßt sich mit solchen Versuchen über Ursachen und Ausmaß der klinisch beobachteten Abrasion an Stellen der Füllungsoberfläche, die keinem Antagonistenkontakt ausgesetzt sind, keine Aussage machen.
zu 2.
Letztlich kann bis heute nur eine Untersuchung unter klinischen Bedingungen wirklich verläßliche Aussagen, vor allem in Bezug auf das Langzeitverhalten, machen. Hierbei stellt allerdings die Beurteilung der Veränderungen an den Füllungen ein Problem dar, da Wägungen und Messungen wie bei genormten Prüfkörpern nicht ohne weiteres möglich sind.

Cvar/Ryge (20) publizierten 1971 Kriterien, nach denen die Veränderungen an Füllungen recht genau erfaßt werden konnten, hierzu brauchte man jedoch speziell ausgebildete Examinatoren, um reproduzierbare Resultate zu erhalten. Unter Kontrolle dieser vom United States Public Health Service ausgebildeten Examinatoren wurden verschiedene klinische Studien durchgeführt: Phillips (70) 1971; Osborne et al. (67) 1973; Leinfelder (52) 1975.
Hierbei zeigte sich stets deutlich die stärkere Abrasion der Composite-Füllungen gegenüber Amalgam, quantitative Angaben waren methodisch bedingt allerdings nicht möglich.

1977 berichtet Meier (58) über eine Methode, die erstmals quantitative Aussagen über die Abrasionswerte machen kann, wenn mit ihr auch nicht die gesamte Füllungsoberfläche, sondern nur bestimmte, punktuelle Bereiche meßtechnisch erfaßt werden können. Hierbei werden nach Abdrücken der zu untersuchenden Füllungen gewonnene Modelle mit Hilfe eines Stereomikroskopes identisch in einem Profilometer positioniert und mit Hilfe einer speziell abgewandelten Meßapparatur profilometrisch vermessen. Dem angebenen Meßfehler zufolge arbeitet die Methode sehr genau, der apparative und meßtechnische Aufwand ist allerdings hoch.
Eine andere Methode zur quantitativen Bestimmung der Abrasion beschreiben Roulet, Mettler und Friedrich (85) 1978. Hier werden mit Hilfe eines Doppeldreibeintisches durch Abdrücke gewonnene Replikas identisch in einer Dreikoordinatenmeßmaschine positioniert und mit einem berührungsfreien vertikalen Meßmikroskop vermessen. Der für diese Methode angegebene Fehler liegt allerdings höher als bei Meier (58).
Neuerdings beschreibt Riethe (81) eine Methode, die versucht, den Moirée-Effekt für eine dreidimensionale, kartographische Erfassung von durch Abdrücke gewonnenen Replikas auszunutzen. Der Autor beschreibt das Verfahren als überaus zeitaufwendig und den mathematischen Aufwand zur Auswertung als hoch. Angaben über den methodischen Fehler werden nicht gemacht.

3.2. Randschlußverhalten

3.2.1. Definition

Unter Randschluß bzw. marginaler Adaptation versteht man die morphologischen und mikromorphologischen Verhältnisse an der Grenzschicht zwischen Kavitätenwand und Füllungsmaterial. Hierbei kann man zwischen schon makroskopisch sichtbaren Fehlern und Fehlern im mikromorphologischen Bereich unterscheiden, die oft nur durch spezielle Untersuchungsverfahren nachzuweisen sind. Zu den makroskopisch feststellbaren Fehlern zählen: grobe Überfüllung, abstehende Füllungsränder, Unterfüllung der Kavität mit Stufenbildungen, Spaltbildungen durch ungenügende Adaptation des Füllungsmaterials an die Kavitätenwand beim Legen der Füllung.
Diese Fehler sind bedingt durch das Vorgehen beim Legen der Füllung und lassen sich bei entsprechend sorgfältiger Arbeitsweise vermeiden.
Die Fehler im mikromorphologischen Bereich sind dagegen häufig materialbedingt und treten zum Teil erst nach einer bestimmten Gebrauchszeit der Füllung oder nur bei bestimmten Belastungen auf. Bei Kunststoffüllungen sind dies Spaltbildungen an der Grenzfläche zwischen Kavitätenwand und Füllung, die ein Eindringen von Speichel, Bakterien oder Farbstoffen ermöglichen und dann leicht zu Randverfärbungen führen.

3.2.2. Ursachen

Die durch eine sorgfältige Arbeitsweise beim Legen der Füllung vermeidbaren Randfehler (s. o.) sollten hier nicht angesprochen werden. Als wichtige Ursache für Undichtigkeiten im Randbereich zwischen Füllung und Kavitätenwand muß bei allen Kunststoffüllungen die Polymerisationskontraktion angesehen werden. Sie konnte im Laufe der Entwicklung der Kunststoffüllungsmaterialien von ca. 5 % bei den reinen Akrylaten auf ca. 1-2 % bei den heutigen Composites gesenkt

werden, Rehberg (18), und kann in ihrer Auswirkung durch Druckausübung während der Polymerisationszeit noch weiter verringert werden. Auch die sich an die Polymerisationszeit anschließende Quellung der Füllung durch Wasseraufnahme kann zu einem teilweisen Ausgleich führen (23,99).
Ein anderer Grund für Randspaltbildungen ist der bei den heutigen Composites immer noch 2-3 mal so große thermische Ausdehnungskoeffizient wie bei den Zahnhartsubstanzen (26). Hierdurch kommt es bei Temperaturschwankungen infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnung von Füllung und Zahn zu periodischen Spaltbildungen mit einem Pumpeffekt für Flüssigkeiten, der unter dem Begriff Perkolation bekannt ist (Sounder/Paffenbarger (95) 1942; Lee/Orlowski (70) 1974). Weiter können periodische Spaltbildungen unter Belastung während der Kaufunktion auftreten, da auch die Elastizitätsmoduli von Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz voneinander abweichen und damit zu unterschiedlicher Verformung von Füllung und Zahn bei mechanischer Beanspruchung führen.

Alle vorgenannten Faktoren können sich besonders deshalb negativ auswirken, weil es primär zu keiner Verbindung zwischen Kavitätenwand und Füllungsmaterial kommt. Versuche, eine chemische Bindung zwischen Zahnhartsubstanzen und Füllungsmaterial zu erzielen, sind bisher gescheitert.
Einen Fortschritt bedeutet aber die Schmelzätzung, bei der durch Säureanwendung (meist ca. 30 % Phosphorsäure) die Schmelzoberfläche aufgerauht wird. Die so erreichte Oberflächenvergrößerung führt zu einer besseren mechanischen Verhaftung des Kunststoffs am Schmelz (2, 15, 80, 94).
Noch weiter geht hier die von Lutz et al. (55) beschriebene Adhäsionspräparation: durch spezielles Anschrägen der Schmelzränder wird eine wesentlich größere Schmelzoberfläche von Füllungsmaterial benetzt und durch die besondere Präparationsform wird die bei Polymerisation auftretende Materialkontraktion nicht vorwiegend als abziehende Kraft am Füllungsrand wirksam.

Alle hier genannten Ursachen für Randfehler bei Kunststoffüllungen wirken sich mit zunehmender Füllungsgröße erheblich stärker aus, so daß das Füllungsvolumen als weiterer wichtiger Faktor genannt werden muß (Lutz (56) 1980).

3.2.3. Folgen von Randfehlern

Ein schlechter Füllungsrandschluß ermöglicht das Eindringen von Speichel, Bakterien, Toxinen und anderen Stoffen entlang der Kavitätenwand. Gelangen diese Stoffe bis ins Dentin, können sie über das tubuläre System bis zur Pulpa weiterdiffundieren und hier zu entzündlichen Reaktionen führen. Im Randspalt sich ansiedelnde Bakterien können zu einer Sekundärkaries führen, da sie über den Spalt mit genügend Nährsubstanzen versorgt werden können. Ferner lagern sich Farbstoffe bevorzugt in nicht dichten Randbereichen ab und führen häufig zu einer ästhetisch äußerst störenden Umsäumung der Füllungen.

3.2.4. Methoden zur Beurteilung des Randschlusses

Einen Überblick über die gebräuchlichen Methoden zur Beurteilung des Randschlusses von Füllungen geben Roulet und Reng (82) in ihrer Arbeit an:

1. Nachweis von Spaltbildungen mit dem Phänomen der Perkolation.

Diese Methode geht auf Nelsen et al. (63) 1952 zurück. Hierbei wurden gefüllte Zähne unter Wasser auf 4°C abgekühlt. Anschließend wurden sie sorgfältig abgetrocknet und während der Erwärmungsphase unter dem Mikroskop beobachtet. Bei allen untersuchten Materialien (Akrylaten, Silikaten, Amalgam) wurden während der Erwärmung kleine Flüssigkeitströpfchen am Füllungsrand ausgepresst. Dieser Effekt wurde zum einen auf die unterschiedliche Wärmeausdehnung von Zahn und Füllungsmaterial, die bei Abkühlung zu Spaltbildung führt, und zum andern auf die Wärmeausdehnung der Flüssigkeit selbst, die in vorhandenes Spalten eindringt, zurückgeführt.

2. Nachweis von Spaltbildungen mit Hilfe von Farbstoffen. Hierbei werden meist um die gelegten Füllungen Wachsmanschetten angebracht, in denen sich Farbstoffe zur Diffusion während unterschiedlicher Einwirkungszeiten befinden. Nach Ablauf der Diffusionszeit werden die gefüllten Zähne geschnitten und die Eindringtiefe der Farbstofflösungen an der Grenzfläche Füllung/Zahn beurteilt. Mit dieser Methode arbeiteten unter anderem: Castagnola (14) 1950, Buchanan (12) 1951, Hirsch und Weinreb (34) 1958, Tani und Buonocore (96) 1969, Lutz et al. (56) 1980.

3. Nachweis von Spaltbildungen durch radioaktive Isotope an extrahierten Zähnen.

Hierbei werden die gefüllten Zähne meist mit Ausnahme der Füllungsumgebung mit Wachs, Nagellack oder ähnlichem abgedeckt und anschließend für eine bestimmte Zeit in die radioaktive Lösung eingelegt. Nach der Expositionszeit werden die Zähne gewaschen und geschnitten und die Schnittfläche in engen Kontakt mit einem Film gebracht. Dieser zeigt an den Kontaktstellen mit radioaktiver Substanz eine Schwärzung.
Aus der Eindringtiefe der radioaktiven Substanz kann auf die Dichtigkeitsverhältnisse am Füllungsrand geschlossen werden. Mit dieser Methode arbeiteten: Amstrong und Simon (1) 1951; Sausen et al. (89) 1953; Phillips et al. (69) 1961; Going und Sawiski (31) 1966; Mc. Curdy et al. (57) 1974; Retief und Woods 1982.

4. Bakterielle Methoden zum Nachweis von Spaltbildungen. Hierbei wurden extrahierte Zähne unter sterilen Bedingungen mit Füllungen versehen. Anschließend wurden die gefüllten Zähne für 60 Tage in eine Suspension pigmentbildender Mikroorganismen eingelegt und zusätzlich zyklischen Temperaturbelastungen unterworfen. Nach Entfernung der Füllungen wurden Abstriche vom Dentin inkubiert. Die hieraus züchtbaren Bakterienkolonien galten als Maß für die Dichtigkeit der Füllungen (Seltzer (88) 1955).

5. Klinische Beurteilung von Spaltbildungen

Klinische Untersuchungen werden meist nach den von Cvar/ Ryge (20) 1971 vorgeschlagenen Kriterien mit einer Sonde unter visueller Kontrolle durchgeführt (Phillips (72) 1973; Osborne et al. (67) 1973; Eriksen (24) 1974; Leinfelder (52) 1975). Eine andere Möglichkeit stellt die elektronenmikroskopische Darstellung der Mikromorphologie des Füllungsrandes dar. Hierbei handelt es sich allerdings um eine indirekte Methode, da das Verfahren nur mit Replikas der Füllungen möglich ist (Tay et al. (98) 1974; Lutz et al. (56) 1980; Lambrechts und Vanherle (47) 1981).

Die mit den angegebenen Untersuchungsmethoden von den verschiedenen Autoren ermittelten Ergebnisse lassen sich nach Roulet (82) in folgenden Aussagen zusammenfassen:

- Die häufig als Referenzmaterial verwendeten Amalgame ergeben im allgemeinen randschlußdichte Füllungen.
- Silikate weisen schon anfangs schlechte Randschlußverhältnisse auf, die sich unter in-vivo-Belastungen weiter verschlechtern.
- Reine Akrylate zeigen zunächst recht guten Randschluß, der sich in vivo aber extrem verschlechtert.
- Composites verhalten sich hinsichtlich ihrer Randschlußeigenschaften etwas besser als die reinen Akrylate.

Man muß allerdings berücksichtigen, daß die Ergebnisse der verschiedenen Autoren nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar sind. Es werden verschiedene Farbstoffe mit unterschiedlichem Penetrationsvermögen verwendet; auch die Konzentration der verwendeten Lösungen ist nicht einheitlich. Bei den Versuchen mit radioaktiven Isotopen ist die Eindringtiefe am Füllungsrand von der Expositionszeit abhängig. Massler und Going (30) konnten 1960 sogar zeigen, daß Isotope bei geeigneter Versuchsanordnung auch an als absolut dicht anzusehenden Füllungsrändern eindringen. 1980 berichtet Lutz (56) über mikromorphologisch perfekt adaptierte Composite-Füllungen im Seitenzahnbereich, die bei

elektronenmikroskopischer Untersuchung mit Hilfe von Replikas eine vierfach bessere Randqualität aufweisen als Amalgamfüllungen. Dennoch erwiesen sie sich bei Farbstoffpenetrationstests als nicht dicht.

3.3. Oberfläche

3.3.1. Ausarbeiten und Politur

Das Erreichen einer möglichst glatten und bis in die Mikrostruktur hinein homogenen Füllungsoberfläche stellte bei den Composites von Anfang an ein Problem dar. Es ist bekannt, daß eine solche Oberflächenstruktur zur Vermeidung von Plaque- und Zahnsteinablagerungen gefordert werden muß, und daß die Gefahr von Sekundärschäden wie Karies, Paradontopathien und Verfärbungen der Füllungsoberfläche mit der Oberflächengüte sinkt. Ideal glatte Oberflächen, wie z. B. bei polierten Amalgamfüllungen, Goldgußfüllungen oder auch bei den reinen Akrylaten sind wegen der heterogenen Composite-Konstruktion aus einer relativ weichen Kunststoffmatrix und den harten anorganischen Füllstoffen, zumindest bei den konventionellen Composites, nicht zu erreichen. Die heterogene Zusammensetzung verhindert eine gute Oberflächenglättung durch Politur, da während des Poliervorganges zunächst die weiche Kunststoffmatrix abgetragen und die harten Füllkörper freigelegt werden. Diese ragen nun teils aus der Oberfläche heraus, teils werden sie beim weiteren Poliervorgang aus ihrer Verbindung mit der Kunststoffmatrix herausgerissen und hinterlassen dann kraterförmige Einsenkungen in der Oberfläche. Aus diesen Gründen lehnen viele Autoren Polierversuche bei konventionellen Composites ab: Bervall und Brännström (8); Koeck (42); Johnson, Jordan und Lynn (38); Butler, Ward und Eames (13).
Es ist bekannt, daß Composite-Füllungen, deren Oberflächen unter einer glatten Matrize polymerisieren ohne weitere Bearbeitung die glatteste Oberflächenstruktur aufweisen (Chandler, Bowen und Paffenbarger (17); Glantz und Larsson (99)). Für die Praxis läßt sich diese ideal glatte Oberfläche aus verschiedenen Gründen nicht ausnutzen.

1. Es ist praktisch nicht möglich, auch bei guter Adaptation der Matrize, vollkommen überschußfreie Füllungen zu legen. Durch das erforderliche Ausarbeiten der Füllung geht die glatte Oberfläche wieder verloren.
2. Die unter der Matrizenabdeckung zunächst entstehende, glatte Oberfläche kommt durch ein Konfluieren der Kunststoffmatrix an der Grenzfläche zur Matrize zustande und stellt damit eine relativ weiche, füllstoffarme Oberfläche dar, die unter Mundbedingungen schon bald zerstört ist (Bergvall und Brännström (8); Eames, Ward und Butler (13)).
3. Manche Autoren fordern ein Legen der Composite-Füllungen mit Überschuß, um während der Polymerisationszeit eine Kompression auf das Material ausüben zu können, die die negativen Auswirkungen der Polymerisationskontraktion verringert und um nach dem Erhärten der Füllung die oberflächliche, durch Zutritt von Luftsauerstoff schlechter polymerisierte Kunststoffschicht abarbeiten zu können (Finger und Jørgensen (27); Eames, O'Neal und Rogers (22); Meier und Lutz(56)).

Bei konventionellen Composites ist also nur ein Finieren der Füllungsoberfläche möglich, das nach Lutz (56) in die Grob- und die Feinausarbeitung unterteilt werden kann. Die Grobausarbeitung dient der Entfernung der größten Überschüsse und kann mit normalen Präparierdiamanten durchgeführt werden, wobei allerdings die Zahnhartsubstanz nicht angegriffen werden darf. Die Feinausarbeitung dient der möglichst weitgehenden Glättung der Füllungsoberfläche und dem Finieren der Füllungsränder. Hierzu werden verschiedene Steine, beschichtete Scheiben oder auch spezielle, feinkörnige Finierdiamanten benutzt.

Eine andere Situation in Bezug auf Ausarbeitung und Politur ergibt sich bei den neuen mikrogefüllten Composites, denn bedingt durch die geringe Teilchengröße der anorganischen Füllstoffe (5-70 nm) sind sie voll polierbar (Kopel und Thanos (43); Lui (54); Meier und Lutz (56)).

Für die härteren mikrogefüllten Composites sind die häufig zum Ausarbeiten konventioneller Composites verwendeten Steine und beschichteten Scheiben nicht genügend abrasiv, so daß hier bei vertretbarem Zeitaufwand nur mit speziellen Diamantfinierern feiner Körnung gearbeitet werden kann (Lutz (56)).
Für die Hochglanzpolitur können spezielle Polierpasten, die mit Gummikelchen aufgebracht werden, mit Al_2O_3 beschichtete Scheiben oder ähnliches verwendet werden.

3.3.2. Methoden zur Bestimmung der Oberflächengüte

Bartenstein und Finger (5) beschreiben in ihrer Arbeit die gebräuchlichsten Methoden zur Bestimmung der Oberflächengüte:

1. Beurteilung der Oberfläche unter dem Rasterelektronenmikroskop nach dem Aufdampfen einer dünnen Goldschicht.
2. Aufzeichnung der Oberflächenrauheit mit Hilfe eines elektrischen Tastschnittgerätes. Die Oberflächenrauhheit wird hierbei durch Messung des R_a-Wertes bestimmt, der als arithmetischer Mittelwert der von einer elektronisch bestimmten Bezugslinie nach oben oder unten gerichteten Abweichungen des Profils über eine bestimmte Prüfstrecke definiert ist.

3.4. Verfärbung

Der entscheidende Vorteil der Kunststoffüllungsmaterialien gegenüber Amalgam- oder Goldgußfüllungen ist ihr ästhetisch befriedigendes, zahnähnliches Aussehen. Ohne dieses Plus hätten sie sich wegen ihrer materialspezifischen Schwächen in der allgemeinen Praxis wohl nicht so schnell durchsetzen können. Aufgrund der gestiegenen ästhetischen Anforderungen von Seiten der Patienten und stark verbesserter Materialeigenschaften bei den Composites sind heute im Frontzahnbereich andere Füllungen kaum noch denkbar. Diese ästhetische Überlegenheit der Composites ist jedoch nicht ungefährdet, da auch heute noch gelegentlich Farbänderungen der gesamten Füllung sowie oberflächliche und marginale Verfärbungen beobachtet werden. Man muß unterscheiden zwischen irreversiblen Veränderungen der gesamten Füllungsmasse und oberflächlicher Verfärbung durch Rauhigkeit und Poren (Lutz (56)).

Ein spezielles Problem sind marginale Verfärbungen durch Farbstoffeinlagerung in nicht dichten Randbereichen der Füllung. Nach Lutz (56) ist die Anzahl verfärbter Füllungen in neueren klinischen Studien gegenüber den Befunden von vor wenigen Jahren erheblich zurückgegangen und liegt heute bei klinischen Zweijahresstudien unter 10 %. Hauptgründe hierfür sieht er in Verbesserungen im Verbundsystem zwischen organischer Matrix und anorganischen Füllern sowie in bleibend glatteren Füllungsoberflächen. Eine bis heute noch nicht beseitigte Ursache von Verfärbungen sind stets reichlich vorhandene Poren im Füllungsmaterial, die nicht nur die physikalischen Eigenschaften verschlechtern, sondern auch eine Einlagerung von Fremdstoffen begünstigen.

Vanherle, Lambrechts und Ameye (46) berichten 1981 über eine Zweijahresuntersuchung, in der sie die Farbbeständigkeit konventioneller und mikrogefüllter Composites untersuchten und miteinander sowie mit Ergebnissen einer vorausgehenden eigenen Untersuchung verglichen.

Sie kamen dabei zu folgenden Ergebnissen:

1. 97,5 % der untersuchten Füllungen waren bezüglich ihrer Farbbeständigkeit in einem Zeitraum von 30 Monaten als annehmbar zu bezeichnen, d. h., sie wiesen keine oder nur geringfügige Verfärbungen auf.
2. Gegenüber einer früheren (1978) Untersuchung der gleichen Autoren ergab sich eine verbesserte Farbbeständigkeit.
3. Die Verfärbungstendenz steigt, wenn auch geringfügig, mit dem Alter der Füllungen an.
4. Die mikrogefüllten Composites sind den konventionellen in Bezug auf Farbbeständigkeit überlegen.

4. Vorversuche

4.1. Kavitätenpräparation

Die zu untersuchenden Kunststoffüllungsmaterialien wurden aus folgenden Überlegungen ausschließlich in Keramikzähne gelegt:

1. Der Kunststoffzahn beeinflußt durch seine Materialeigenschaften (Formverhalten unter Kaubelastung, Volumenverhalten bei Temperaturschwankungen, Quellung durch Flüssigkeitsaufnahme) die Untersuchungsergebnisse offenbar so stark, daß sie im Widerspruch zur allgemeinen klinischen Erfahrung stehen. Dies konnten sowohl Benedix und Bock (7) als auch Clajus und Schubert (18) in ihren Untersuchungen zeigen.
2. Der Kunststoffzahn ist von seiner chemischen Struktur her nahe mit den Kunststoffüllungsmaterialien verwandt. Man muß daher mit einer chemischen Verbindung zwischen Kavitätenwand und Füllungsmaterial rechnen, was nicht den Verhältnissen beim Legen einer Füllung in einen natürlichen Zahn entspricht und eine Beeinflussung des Versuchsablaufs erwarten läßt.
3. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften dentaler Keramikmasse (44):
   - sehr hohe Druckfestigkeit,
   - sehr große Härte,
   - geringe elastische Deformation,
   - sehr hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Angriffen,

   lassen ein weitgehend neutrales Verhalten gegenüber den eingebrachten Füllungsmaterialien und damit einen möglichst geringen Einfluß auf die Versuchergebnisse erwarten.

Als Kavitätenformen wurden erstens stilisierte Kavitäten der Black Klasse I gewählt, um eine möglichst standardisierte Form und Größe der zu untersuchenden Füllungen zu erreichen

und trotzdem etwas über ihr Verhalten im Seitenzahnbereich aussagen zu können.
Zweitens wurden stilisierte Kavitäten der Black Klasse V gewählt, um bei ebenfalls möglichst weitgehender Standardisierung von Füllungsform und Füllungsgröße das Verhalten der Materialien auch außerhalb des Demastikationsbereichs beurteilen zu können.
Die verwendeten Kavitätenformen unter Angabe der durchschnittlichen Abmessungen sind aus Abb. 1 ersichtlich:

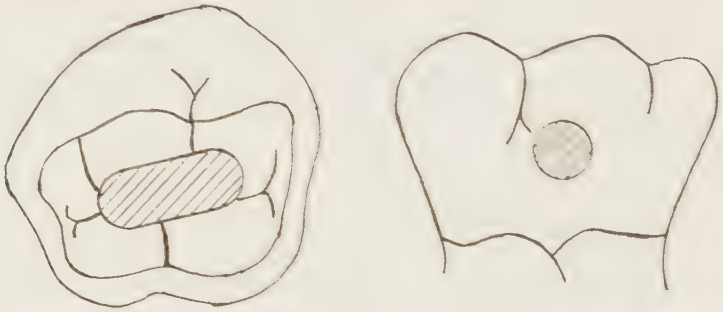


Abb. 1 a) okklusale Kavitäten b) buccale Kavitäten

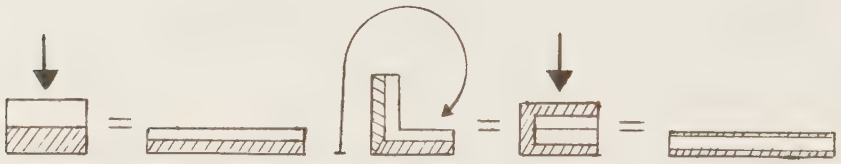
Bei den okklusalen Kavitäten betrug die durchschnittliche Länge 3,5 mm, die durchschnittliche Breite 1,5 mm und die durchschnittliche Tiefe 3 mm. Die buccalen Kavitäten wurden kreisrund mit einem Durchmesser von 2 mm und einer Tiefe von 2,5 mm gestaltet.
Es braucht nicht betont zu werden, daß bei der Präparation von Hand geringfügige Abweichungen von den angegebenen Werten nicht zu vermeiden waren. Es wurden aber sämtliche Kavitäten von einem Behandler präpariert und versucht, sie möglichst identisch zu gestalten. Präpariert wurde mit einer Turbine und walzenförmigen Diamantschleifkörpern (Hager & Meisinger, DIA-FG 835/012) unter Kühlung durch Wasserspray. Hierbei traten durch die große Härte und Sprödigkeit der Keramik Probleme auf (siehe auch Benedix/Bock (7) sowie Glaßus/Schubert (10)):

Mit einem neuen Diamantschleifer konnten maximal 3-4 Kavitäten präpariert werden, danach mußte jeweils ein neues Instrument verwendet werden. Die Kavitätenwände waren nach der Präparation relativ rauh und am Kavitätenrand zeigten sich unter dem Stereoauflichtmikroskop (Olympus, Tokio) stellenweise kleinere Materialabsplitterungen. Beides konnte durch Finieren der Kavitätenwände mit sogenannten Composite-Finierern (Hager & Meisinger, Düsseldorf), im Gegensatz zu den Angaben von Benedix und Bock (7), verbessert werden.
Anschließend wurden die Kavitäten mit Wasserspray gesäubert und mit Druckluft getrocknet.
Für die Versuche standen 4 Patienten mit Ok/Uk-Vollprothesen zur Verfügung. Die Keramikzähne (Ivoclar, Vivoperl) wurden jeweils im Uk-Seitenzahnbereich aufgestellt. Präpariert und mit Füllungen versehen wurden jeweils die Zähne 4, 5 und 6. Bei jedem Patienten konnten somit 6 okklusale und 6 buccale Füllungen gelegt werden. Bei 4 Patienten ergab das insgesamt 48 Füllungen.

4.2. Anmischtechnik

Bei den verwendeten Präparaten handelte es sich ausschließlich um chemisch aktivierte 2-Pasten-Systeme. Dem Problem des Anmischens aus den beiden Komponenten mußte daher Beachtung geschenkt werden (vgl. auch Finger, W.: Vor- und Nachteile verschiedener Darbietungsformen von Kunststoffüllungsmaterialien (28)).
Wir verwendeten bei unseren Versuchen nicht die allgemein gebräuchliche Spateltechnik, sondern nach Empfehlungen des Herstellers der Produkte 2 und 3 die sogenannte Falttechnik: Hierbei werden zunächst die entsprechenden Mengen der beiden Pasten aufeinandergeschichtet und anschließend mit dem Spatel flachgedrückt.
Sodann wird eine Hälfte der Masse mit dem Spatel von der Unterlage gelöst und über die andere gefaltet. Nun folgt wieder

das Flachdrücken mit dem Spatel usw. Dieses Vorgehen soll ein Einschließen von Luftblasen beim Anmischvorgang weitgehend vermeiden.



1. Schritt 2. Schritt 3. Schritt usw.

Abb. 2 Darstellung der Falttechnik

4.3. Legen der Füllungen

Das Material wurde unmittelbar nach dem Anmischen (verwendet wurde hierzu ein handelsüblicher Achatspatel) mit Füllspateln aus Kunststoff im Überschuß in die gesäuberte und getrocknete Kavität eingebracht, mit einer Polycarbonatfolie abgedeckt und während der Polymerisationszeit für 5 Minuten unter digitaler Kompression gehalten. Dies entspricht dem von Lutz (56) empfohlenen Vorgehen und soll dazu dienen, die Auswirkungen der Polymerisationskontraktion durch die digitale Kompression, mit nachfließendem Material von der Oberfläche her, zumindest teilweise zu kompensieren und außerdem nach Erhärten des Materials einen Überschuß zu erzielen, damit eine eventuell vorhandene Sauerstoffinhibitionsschicht (vgl. Jørgensen und Finger (27)) beim Ausarbeiten der Füllung entfernt werden kann.
Ein in den Vorversuchen untersuchtes alternatives Vorgehen, bei dem das Füllungsmaterial unmittelbar nach dem Einbringen in die Kavität mit Vaseline überschichtet wurde, um so einen Zutritt von Sauerstoff und damit die Ausbildung einer oberflächlichen Inhibitionsschicht zu vermeiden, wurde später bei der Durchführung der Versuche nicht mehr angewendet.

Bei diesem Vorgehen findet unter der digitalen Kompression möglicherweise in den oberflächlichen Schichten eine Vermischung des Füllungsmaterials mit der Vaseline statt. Die Beurteilung der nach diesem Verfahren gelegten und anschließend ausgearbeiteten Füllungsoberflächen und Randbereiche unter dem Stereomikroskop ergab jedenfalls eindeutig einen negativen Einfluß der Vaseline.

4.4. Ausarbeiten der Füllungen

4.4.1. Zeitpunkt

Mit dem Ausarbeiten der Füllungen wurde einheitlich ca. 15 Minuten nach Beginn des Anmischens angefangen. Die in der Literatur genannte Forderung, mit dem Ausarbeiten erst zu beginnen, wenn der durch die Polymerisationsschrumpfung bedingte initiale Randspalt durch sekundäre Quellung des Füllungsmaterials durch Wasseraufnahme zumindest zum Teil wieder ausgeglichen ist (3, 23, 99), um nicht bei frühzeitiger Bearbeitung kleine Partikel in den kontraktionsbedingten Spalt zu pressen und damit eine sekundäre Spaltverminderung durch Quellung zu behindern, wurden zugunsten eines praxisnahen Vorgehens bewußt außer acht gelassen. In der Praxis ist der Zeitpunkt des Ausarbeitens nämlich erfahrungsgemäß auf eine Zeit kurz nach dem Erhärten des Kunststoffs festgelegt (56). Für die Praxis kann daher auch eine nicht zu große Empfindlichkeit gegenüber frühzeitiger Ausarbeitung als Qualitätsmerkmal eines Füllungskunststoffs angesehen werden.

4.4.2. Vorgehen

15 Minuten nach Beginn des Anmischens wurde mit der Bearbeitung der Füllungsoberfläche begonnen. Wir benutzten hierzu die gebräuchlichen Composite-Finierdiamanten (Hager & Meisinger, Düsseldorf), angetrieben von einem roten

Winkelstück (40000-80000 U/min) unter Kühlung durch Wasserspray. Die Füllungsoberflächen wurden einheitlich soweit abgetragen, daß:

1. eine eventuell vorhandene Sauerstoffinhibitionsschicht entfernt wurde,
2. alle Füllungsbereiche außerhalb eines direkten Antagonistenkontaktes waren,
3. im Randbereich der Füllungen keine Materialüberschüsse mehr vorlagen (Kontrolle unter dem Stereoauflichtmikroskop),
4. die oberflächliche Keramikschicht im Kavitätenrandbereich mit abgetragen wurde, um die o. g. kleineren Randabsplitterungen, die sich nach Präparieren und Finieren nicht beseitigen ließen, mit zu entfernen.

Die Situation vor und nach dem Ausarbeiten der Füllungen zeigt schematisch die Abb. 3:

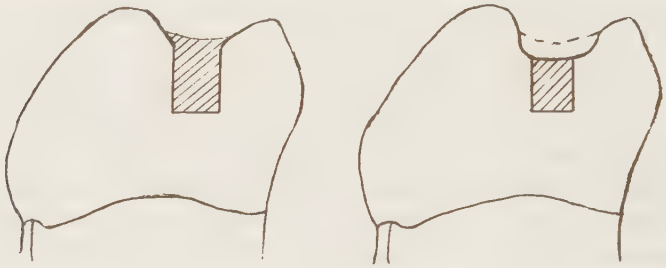


Abb. 3 a) vor dem Ausarbeiten b) nach dem Ausarbeiten

Das Ausarbeiten der Füllungen wurde fortlaufend unter dem Stereoauflichtmikroskop kontrolliert und erst beendet, wenn sich im gesamten Umfang der Füllungsrandbereich scharf abzeichnete und die angrenzende Keramikoberfläche, erkennbar an der rauheren Struktur gegenüber der unberührten, glanzgebrannten Keramik, rundum in einem Bereich von ca. 1 mm erfaßt worden war.

Die beiden an den Untersuchungen beteiligten konventionellen Composites wurden anschließend nicht mehr weiter bearbeitet. Das untersuchte mikrogefüllte Composite wurde anschließend auf Empfehlung des Herstellers mit einer handelsüblichen Vor- und Hochglanzpoliturpaste (Clean polish und Super polish), die mit einem Gummikelch aufgebracht wurden, unter Wasserkühlung poliert. Die hierbei jeweils erreichte Oberflächengüte wurde fortlaufend unter dem Stereomikroskop überwacht.

4.5. Vorversuche zur Dokumentation

4.5.1. Fotografische Dokumentation

Es sollte versucht werden, jede Füllung sofort nach dem Ausarbeiten, bei der Anfangskontrolle, der ersten Nachkontrolle und nach Abschluß der Versuche zu fotografieren, um so die jeweils auftretenden Veränderungen dokumentieren zu können. Diese Versuche scheiterten aber ausnahmslos am fehlenden Kontrast zwischen Füllungsoberfläche und angrenzender Zahnoberfläche. Außerdem erwies es sich als unmöglich, bei den notwendigen Abbildungsmaßstäben den gesamten Füllungsrand in der Schärfezone abzubilden. Die Aussagekraft der erzielbaren Fotografien war enttäuschend gering, so daß dieses Verfahren zur fortlaufenden Dokumentation nicht angewandt wurde.

4.5.2. Elektronenmikroskopische Dokumentation

Hierzu wurden mit individuell hergestellten Kunststofflöffeln mit einem dünnfließenden Abdruckmaterial (Xantropen blau, Bayer) Abdrücke der gefüllten Zähne gewonnen. Diese wurden nach dem Aufbringen einer dünnen Goldschicht elektronenmikroskopisch fotografiert.
Auf den hierbei erzielten Aufnahmen (Anhang 7.3.) waren Füllungsrandbereiche und Oberflächenstruktur relativ gut zu erkennen. Dennoch waren die Auswertungsmöglichkeiten

gegenüber der unten beschriebenen direkten Betrachtung unter dem Stereoauflichtmikroskop begrenzt, da elektronenmikroskopische Aufnahmen aufgrund der durchgehenden Bildschärfe zwar einen gewissen räumlichen Eindruck vermitteln, aber eben doch keine echte räumliche Betrachtung erlauben. Da es sich hierbei darüberhinaus um ein teures und aufwendiges Verfahren handelt, wurde auch die elektronenmikroskopische Dokumentation bei der Durchführung der Versuche zugunsten des unten beschriebenen Verfahrens nicht angewendet.

4.5.3. Auswertung unter dem Stereoauflichtmikroskop

Die direkte Betrachtung der Füllungen unter dem Stereoauflichtmikroskop (Olympus) erlaubte aufgrund der echten räumlichen und zugleich farbigen Betrachtungsmöglichkeit eindeutig die genauesten Beobachtungen von Füllungsrandbereich und Oberfläche. Als wesentlich erwies sich hierbei vor allem die Möglichkeit, durch geringfügige Veränderungen von Schärfezone und Beleuchtung jede beliebige Stelle sozusagen "von allen Seiten" betrachten zu können. Diese guten Untersuchungsmöglichkeiten sind allerdings nur zum Zeitpunkt der Untersuchung vorhanden und in dieser Form nicht dokumentierbar. Dies ist zweifellos ein Nachteil dieser Methode. Zum Zweck der Dokumentation wurde versucht, die gemachten Beobachtungen auf speziell entworfenen Formblättern so genau wie möglich grafisch darzustellen (Anhang 7.5.). Darüberhinaus wurden zusätzlich nach dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Verfahren gewonnene Abdrücke der gefüllten Zähne ebenfalls direkt unter dem Stereomikroskop betrachtet. Hierbei zeigte sich, daß aufgrund der matteren, nicht zu Reflexionen neigenden Oberfläche des Abdruckmaterials manchmal Strukturfeinheiten beobachtet wurden, die bei der direkten Betrachtung der Füllungen übersehen worden waren. Andererseits konnten manchmal feine Strukturen, die bei der direkten Betrachtung

gesehen wurden, im Abdruck nicht mehr wiedergefunden werden. Insgesamt ergab sich aber eine gute Übereinstimmung zwischen der direkten und der indirekten Auswertung. Zur Sicherheit wurden bei den späteren Versuchen dennoch beide kombiniert angewendet, um jede Füllung so genau wie möglich zu erfassen.

4.5.3.1. Grafische Dokumentation

Zur Dokumentation der mit dem Stereomikroskop gefundenen Untersuchungsergebnisse wurde ein Versuchsprotokoll entworfen (siehe Anhang 7.5.), auf dem für jede Füllung während der Untersuchung die feststellbaren Besonderheiten grafisch dargestellt wurden. Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, wurden sowohl die Untersuchung unter dem Mikroskop als auch die grafische Darstellung und deren spätere Auswertung zunächst von jedem Behandler einzeln durchgeführt. Die hierbei gelegentlich auftretenden Differenzen in der Beurteilung wurden im jeweiligen Fall gemeinsam besprochen und durch eine gemeinsam erarbeitete Beurteilung der betroffenen Füllungen behoben.
In einem Vorversuch, bei dem einige Füllungen an verschiedenen Tagen mehrmals nach dem beschriebenen Verfahren beurteilt wurden, zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse für die jeweiligen Füllungen.
Aufgrund der genannten Vorteile entschlossen wir uns, bei der Durchführung der Versuche das hier beschriebene Verfahren zur Untersuchung und Dokumentation einzusetzen.

5. Experimenteller Teil

5.1. Versuchsablauf

5.1.1. Herstellung der Prothesen

Vier Patienten, die im Rahmen des Prothetikkurses an der Westdeutschen Kieferklinik (Düsseldorf) mit Vollprothesen versorgt werden sollten, konnten zur Teilnahme an den Versuchen gewonnen werden. Für jeden Patienten wurde eine neue Ok-Uk-Vollprothese angefertigt. Abweichend vom üblichen Vorgehen wurden jedoch Keramikzähne im Uk-Seitenzahnbereich aufgestellt, die später mit den zu untersuchenden Füllungsmaterialien gefüllt wurden. Nach der Fertigstellung wurden die Prothesen den Patienten wie üblich eingegliedert.

5.1.2. Verwendete Füllungsmaterialien

Zur Untersuchung wurden drei verschiedene Kunststoffüllungsmaterialien verwendet. Bei zweien handelte es sich um konventionelle Composites, während das dritte ein mikrogefülltes Präparat war.
Die Präparate im einzelnen:

1. Concise^{R} (3 M Corporation, St. Paul, USA).
   Dieses schon länger auf dem Markt angebotene konventionelle Composite wurde als Referenzmaterial ausgewählt.
   Beschreibung (nach Herstellerangaben):
   - Chemisch aktiviertes 2-Paste-System,
   - Füllstoff: besteht zu 72 % aus Borosilikat,
   - Katalysator: Benzoylperoxid mit Zusätzen,
   - Akzelerator: Dimethylparatoluidin,
   - Korngröße des Füllstoffs: 15 - 40 µm,
   - Anmischzeit: ca. 30 sec.,
   - Verarbeitungszeit: ca. 90 sec.

2. D 513 (Bayer, Leverkusen).
   Entwicklungsmuster eines konventionellen Composites der Firma Bayer.
   Beschreibung:
   - Chemisch aktiviertes 2-Pasten-System,
   - Anmischzeit: ca. 30 sec.

3. D 587 (Bayer, Leverkusen).
   Entwicklungsmuster eines mikrogefüllten Composites der Firma Bayer.
   Beschreibung:
   - Chemisch aktiviertes 2-Pasten-System,
   - Anmischzeit: ca. 30 sec.

Concise^{R} wurde auf dem üblichen Weg von einem Dental-Depot geliefert.
Die Entwicklungsmuster von D 513 und D 587 wurden uns von der Firma Bayer zur Verfügung gestellt.

5.1.3. Präparation, Legen der Füllungen und Ausarbeiten

Die Kavitäten wurden, wie bei den Vorversuchen beschrieben, von einem Behandler jeweils an den Zähnen 4, 5 und 6 der Uk-Prothesen präpariert. Jeder dieser Zähne wurde mit einer okklusalen und einer buccalen Kavität versehen. Die Verteilung der verschiedenen Füllungsmaterialien auf die einzelnen Kavitäten erfolgte durch Randomisierung (siehe Anhang 7.6.), um eventuell mögliche Begünstigungen eines Materials durch die Lokalisation auszuschließen.
Die Füllungen wurden, wie bei den Vorversuchen beschrieben, gelegt, und ca. 15 Minuten nach Beginn des Anmischens, ebenfalls wie bei den Vorversuchen beschrieben, ausgearbeitet. Das mikrogefüllte Versuchsmaterial D 587 wurde zusätzlich, wie beschrieben, poliert. Anschließend wurden die Prothesen den Patienten übergeben. Diese wurden gebeten, die Reinigung der Prothesen nur mit Zahnbürste und Zahnpasta vorzunehmen,

um zum einen diese für Füllungen im Normalfall gegebene Belastung nachzuahmen und zum anderen einen möglicherweise schädlichen Einfluß sogenannter Selbstreinigungsbäder auf die Füllungen auszuschließen.

5.1.4. Durchführung der Kontrolluntersuchungen

Ein Anfangsbefund aller Füllungen nach dem unter 4.5.3. beschriebenen Vorgehen wurde erhoben, nachdem die Prothesen nach der Füllungslegung für 2 Tage von den Patienten getragen worden waren. Dieser Zeitpunkt für den Anfangsbefund wurde gewählt, um auch die durch eine sekundäre Quellung durch Flüssigkeitsaufnahme bedingten Veränderungen an den Füllungen zu erfassen.
Anschließend wurden die Prothesen den Patienten wieder übergeben, wobei diese nochmals gebeten wurden, die gegebenen Pflegehinweise zu beachten.
Nach 4 Monaten Tragezeit wurde nach dem gleichen Vorgehen eine erste Nachuntersuchung aller Füllungen vorgenommen.
Nach weiteren 4 Monaten wurde in gleicher Weise die Schlußuntersuchung durchgeführt.

5.1.5. Austausch der gefüllten Zähne nach Ablauf der Untersuchungszeit

Im Anschluß an die Schlußuntersuchung wurden die mit den Testfüllungen versehenen Keramikzähne der Uk-Prothesen durch normale Kunststoffzähne im Reparaturverfahren ersetzt. Dadurch konnten die Füllungen in dem nach insgesamt 8 Monaten Tragezeit vorliegenden Zustand sichergestellt werden und waren darüberhinaus für weitergehende Untersuchungen jederzeit verfügbar. Um Veränderungen durch ein Austrocknen der Füllungen zu verhindern, wurden sie von diesem Zeitpunkt an unter Wasser gelagert.

5.1.6. Untersuchung des Schlußzustandes der Füllungen unter dem Stereoauflichtmikroskop nach Anfärbung mit Methylenblau

Nachdem die gefüllten Zähne nunmehr lose zur Verfügung standen, war es möglich, diese nach Anfärben (wir verwendeten eine 0,1 % Lösung von Methylenblau) erneut unter dem Stereomikroskop auszuwerten.
Beim Anfangsbefund und bei der ersten Nachkontrolle wäre ein solches Vorgehen für die Patienten nicht zumutbar gewesen.
Es zeigte sich hierbei deutlich, daß die Auswertungsmöglichkeiten durch das Anfärben der Füllungen, bedingt durch die bevorzugte Anreicherung des Farbstoffs in porösen Füllungsbereichen und sein Eindringvermögen auch in schmale Spalten, gegenüber der Auswertung der ungefärbten Füllungen, eindeutig verbessert werden konnten. Vor allem die Erkennbarkeit feiner Strukturdetails am Füllungsrand konnte durch das Anfärben verbessert werden, so daß es öfters möglich war, zwischen Verlusten von Füllungsmaterial im Randbereich und feinen Keramikabsplitterungen am Kavitätenrand zu unterscheiden, welches vorher nur bei größeren Fehlern dieser Art gelang.
Auch die bei der Untersuchung der angefärbten Füllungen gemachten Beobachtungen wurden in der beschriebenen Form grafisch dokumentiert und in die spätere Auswertung mit einbezogen.
Vor dem Anfärben der Füllungen reinigten wir diese nach der auch den Patienten empfohlenen Methode mit Zahnbürste und Zahnpasta. Wie die Untersuchung der angefärbten Füllungen später zeigte, kann dies jedoch nicht als ausreichend angesehen werden. Bei manchen Zähnen zeigten sich nämlich relativ großflächige Einfärbungen der Füllungsoberfläche, die leicht gar nicht vorhandene Defekte vortäuschen können. Wir nehmen an, daß es sich hierbei vornehmlich um festhaftende organische Beläge handelt. Bei zukünftigen ähnlichen Untersuchungen sollte man versuchen, diese vor dem Einfärben, z. B. mit Hilfe von NaOH, zu entfernen.

5.1.7. Zusammenfassende Übersicht über den zeitlichen Ablauf der Versuche

1. Anfertigung der Ok-Uk-Vollprothesen mit Keramikzähnen im Uk-Seitenzahnbereich im Wintersemester 1981/82.

2. Legen der Füllungen am 6. und 7. April 1982.

3. Durchführung der Anfangskontrolle am 8. und 9. April 1982.

4. Durchführung der ersten Nachkontrolle am 6. und 7. August 1982.

5. Durchführung der Schlußkontrolle und Austausch der Keramikzähne im Reparaturverfahren am 6. und 7. Dezember 1982.

6. Anschließende Lagerung der mit den Kunststoffüllungen versehenen Keramikzähne unter Wasser.

7. Anfärbung der Füllungen mit Methylenblau und anschließende Kontrolle unter dem Stereomikroskop Ende Januar 1983.

5.2. Auswertung und Dokumentation

Das angewandte Verfahren zur Auswertung wurde unter 4.5.3. beschrieben. Zum Vorgehen bei der grafischen Dokumentation siehe das Versuchsprotokoll mit Erläuterungen im Anhang (Anhang 7.5.).

Bei der Anfangskontrolle waren, abgesehen von der auch makroskopisch schon erkennbaren, glatteren Oberfläche des mikrogefüllten Präparates 587 gegenüber den beiden konventionellen Composites, nur kleinere Bereiche mit einer Randspaltbildung und ganz vereinzelt oberflächliche Poren oder kleine Löcher in der Füllungsoberfläche festzustellen. Diese guten Ausgangsbedingungen wurden dadurch erreicht, daß ein optimales Arbeiten beim Legen der Füllungen möglich war:

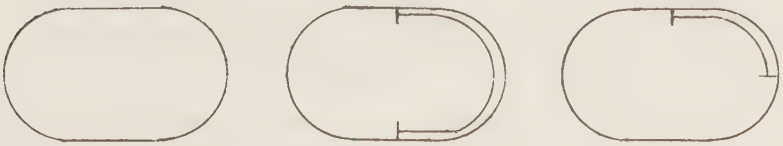
1. Die Kavitäten waren optimal sauber und trocken.
2. Die Füllungen konnten unter optimaler Sicht und zusätzlicher Kontrolle unter dem Stereomikroskop ausgearbeitet werden.

Dadurch konnte man davon ausgehen, daß die Anfangsqualität der frisch gelegten und ausgearbeiteten Füllungen der von unter klinischen Bedingungen gelegten Füllungen mindestens gleichwertig war.

Bei der ersten Nachkontrolle nach 4 Monaten Tragezeit fiel vor allem eine Zunahme der Randspaltbildungen auf. Gelegentliche Materialverluste von Füllungen im Randbereich konnten auch beobachtet werden. Hinweise für einen generalisierten Substanzverlust der Füllungen im Sinne einer Abrasion konnten nicht gefunden werden. Eine generalisierte Verfärbung von Füllungen konnte in keinem Fall gefunden werden. Die Füllungen einer Patientin, die als Raucherin bekannt war, wiesen allerdings bräunliche, oberflächliche Pigmentierungen auf, von denen das mikrogefüllte Präparat 587 eindeutig am wenigsten betroffen war, die beiden konventionellen Composites aber etwa gleich stark.

Bei der Schlußkontrolle (= 2. Nachkontrolle) nach einer Tragezeit von insgesamt 8 Monaten konnte vor allem eine starke Zunahme der Randspaltbildungen beobachtet werden. Auch Materialverluste der Füllungen im Randbereich (Füllungsrandbrüche) konnten vermehrt beobachtet werden. Erste Anzeichen für einen vertikalen Substanzverlust waren vor allem an einem teilweisen Verlust der Bearbeitungsspuren des Finierdiamanten (bei den konventionellen Composites) unter dem Stereomikroskop erkennbar. Eine der bekannten Methoden zur quantitativen Abrasionsbestimmung stand allerdings nicht zur Verfügung. Die generalisierte Verfärbung einer Füllung konnte auch bei der Schlußkontrolle in keinem Fall beobachtet werden. Die schon bei der ersten Nachkontrolle auffallende bräunliche Oberflächenpigmentierung der Füllungen bei der Raucherin war in ihrem Ausmaß stärker ausgeprägt, in ihrer Verteilung auf die einzelnen Materialien aber unverändert.
Die Auswertung des Schlußzustandes der Füllungen nach Anfärbung mit Methylenblau ergab ein grundsätzlich zwar gleiches, aber doch quantitativ modifiziertes Bild. Die feststellbare Randspaltausdehnung war gegenüber der Schlußkontrolle der ungefärbten Füllungen erheblich größer und auch kleine Oberflächenporen und Löcher in der Füllungsoberfläche konnten öfter festgestellt werden. Auch in qualitativer Hinsicht war dadurch, daß erstmals zwischen kleineren Keramikabsplitterungen am Kavitätenrand und Randbrüchen Füllungsmaterial selbst (wenn auch nicht an allen Stellen) unterschieden werden konnte, eine modifizierte Aussage möglich.
Die auffälligsten Veränderungen in unseren Untersuchungen betrafen eindeutig den Randbereich der Füllungen. Es wurde versucht, diese Veränderungen (Randspaltbildungen und Randabbrüche) durch Auswertung der grafischen Aufzeichnungen auch quantitativ darzustellen. Hierbei konnten aufgrund der angewandten Methode keine absoluten, in Längeneinheiten angeb-

baren Ergebnisse gewonnen werden. Die auftretenden Randfehler wurden vielmehr in Bezug zur Länge des gesamten Füllungsrandes gesetzt. Die gesamte Länge des Füllungsrandes wurde gleich 100 % gesetzt und die grafisch erfassten Randfehler entsprechend ihrer Ausdehnung ebenfalls in % angegeben. Zur Verdeutlichung siehe Abb. 4:



a) Bezugswert gesamter Randbereich der Füllung = 100 %

b) Beispiel 1 Ausdehnung des Randfehlers in diesem Fall = 50 %

c) Beispiel 2 Ausdehnung des Randfehlers in diesem Fall = 25 %

Abb. 4: Ermittlung des Randfehlers in %

Die so gewonnen Ergebnisse wurden tabellarisch erfaßt und sind in den Tabellen (Anhang 7.1.) wiedergegeben. Unter der Rubrik "direkt" sind die Ergebnisse der direkten Betrachtung der Füllungen unter dem Stereomikroskop aufgeführt. Die Rubrik "indirekt" zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Abdrücke, und die Rubrik"Summe" bezeichnet den aus beiden ermittelten Gesamtfehler. Hierbei handelt es sich natürlich nicht um eine einfache Addition, sondern nur die bei der jeweils anderen Methode zusätzlich gefundenen Fehler wurden bei der Ermittlung des Gesamtfehlers berücksichtigt.

6. Diskussion der Ergebnisse

6.1 Farbbeständigkeit der Füllungen

Bei keiner der insgesamt 48 Füllungen trat während der Untersuchungszeit von 8 Monaten eine auffällige Farbänderung ein. Hierbei muß allerdings betont werden, daß der Untersuchungszeitraum von nur 8 Monaten eine endgültige Aussage noch nicht erlaubt. Entsprechende klinische Studien werden meist über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren angelegt.
Die bräunlichen Pigmentierungen der Füllungsoberflächen bei der Raucherin konnten bei den konventionellen Composites aufgrund deren relativ rauher Oberflächenbeschaffenheit nicht überraschen. Beachtung verdient, daß sie bei dem mikrogefüllten Präparat D 587 praktisch nicht auftraten, erklärbar durch dessen wesentlich glattere Oberfläche.

6.2. Abrasionsverhalten der Füllungen

Es zeigte sich, daß Aussagen zum Abrasionsverhalten der Kunststoffüllungsmaterialien bei dem gewählten Versuchsaufbau nur schwer zu machen waren. Bei der ersten Nachuntersuchung nach 4 Monaten konnten noch keine Anhaltspunkte für eine Abrasion der Materialien gefunden werden. Bei der Schlußuntersuchung konnten beginnende Abrasionserscheinungen festgestellt werden. Da jedoch keine quantitativen Messungen möglich waren, kann nur die qualitative Aussage "Es hat Abrasion stattgefunden" getroffen werden. Eine Klassifizierung der unterschiedlichen Materialien bezüglich ihres Abrasionsverhaltens war so ebenfalls nicht möglich. Insgesamt waren die feststellbaren Abrasionserscheinungen jedenfalls wenig ausgeprägt, bedingt durch folgende Gründe:

1. Eine Untersuchungszeit von 8 Monaten ist möglicherweise noch zu kurz, um endgültige Aussagen über das Abrasionsverhalten machen zu können. Jørgensen (39) fand bei seinen

Untersuchungen, daß die nach einem halben Jahr an Füllungen, die in Prothesenzähnen gelegt wurden, messbaren Abrasionswerte gegenüber vergleichbaren Messungen an natürlichen Zähnen zu niedrig liegen.

2. Die veränderten Kau- und Essgewohnheiten von Prothesenträgern sowie die gegenüber natürlichen Zähnen nur etwa ein Fünftel betragende Kauleistung von Vollprothesen sind gerade auf die Abrasion sicherlich nicht ohne Einfluß.
3. Die Füllungen befanden sich bewußt außerhalb eines direkten Antagonistenkontaktes. Ein Teilaspekt der Abrasion, die Attrition, konnte somit nicht wirksam werden.

6.3. Randschlußverhalten der Füllungen

Die drastischsten Veränderungen an den untersuchten Füllungen traten im Randbereich zwischen Füllung und Kavitätenwand auf. Diese konnten für eine vergleichende Bewertung der Füllungen untereinander auch quantitativ ausreichend genau erfaßt werden. Für die vergleichende Bewertung der Ergebnisse soll die Schlußuntersuchung der angefärbten Füllungen zunächst außer acht gelassen werden, da sie mit der Anfangskontrolle und der ersten Nachkontrolle, die an den ungefärbten Füllungen durchgeführt wurden, nicht direkt vergleichbar ist.
Zusammenfassend läßt sich folgendes feststellen:
Der durchschnittliche Randfehler aller Füllungen steigerte sich bei den okklusalen Füllungen von 10,7 % bei der Anfangskontrolle auf 25,8 % bei der ersten Nachkontrolle und auf 55,7 % bei der Schlußkontrolle nach 8 Monaten. Dies muß als deutliche Veränderung gewertet werden und weist das Randschlußverhalten als bei weitem empfindlichsten Parameter bei der vorliegenden Versuchsanordnung aus. Die entsprechenden Zahlen für die buccalen Füllungen lauten wie folgt: Anfangsbefund = 19,5 %; erste Nachkontrolle = 25,0 %; Schlußkontrolle = 30,6 %.

Weitere Einzelheiten können aus den Tabellen (Anhang 7.1.) entnommen werden.

Diese Ergebnisse sind auf den ersten Blick zunächst erschreckend, wenn man bedenkt, daß z. B. 55,7 % bei der Schlußkontrolle der okklusalen Füllungen bedeutet, daß bei allen Füllungen im Durchschnitt nach einer Tragezeit von 8 Monaten über mehr als die halbe Länge des Füllungsrandes Spalten oder andere Randschlußfehler festgestellt wurden. Daher müssen diese Zahlen eindeutig relativiert werden. Sie sind aufgrund der genauen Untersuchungsmöglichkeiten unter dem Stereoauflichtmikroskop zustande gekommen und dürfen nicht als Randspalten im üblichen, klinisch makroskopisch erfaßbaren Sinn aufgefaßt werden. Eine orientierende klinische Untersuchung mit der Sonde ergab denn auch nur ganz vereinzelt faßbare Randfehler, so daß weitaus die Mehrheit der Füllungen klinisch als einwandfrei eingestuft worden wäre, und unterstreicht somit die Empfindlichkeit des angewendeten Auswertungsverfahrens.

Bei der durch diese Relativierung nahegelegten vorsichtigen Interpretation der gewonnenen Zahlenwerte lassen sich zusammenfassend folgende Aussagen machen:

1. Bei allen untersuchten Materialien tritt mit zunehmender Tragezeit eine deutliche Zunahme von Randfehlern auf.

2. Die beiden untersuchten konventionellen Composites, Concise^{R} und D 513, sind in Bezug auf den Randfehler als etwa gleichwertig einzustufen.

3. Bei D 587 liegen insgesamt größere Randfehler vor, vor allem die Zunahme der Randfehler zwischen der ersten Nachkontrolle und der Schlußkontrolle ist stärker als bei den konventionellen Composites.

4. Die Zunahme des Randfehlers im Verlauf der Untersuchung war bei den okklusalen Füllungen erheblich größer als bei den buccalen Füllungen.

Die aufgetretenen Randfehler lassen sich noch unter einem weiteren Aspekt betrachten. Es ist von Interesse, ob die Randspalten nur in den oberflächlichen Schichten an der Grenze der Keramik zur Füllungsmasse liegen, oder ob sie sich weiter in die Tiefe, vielleicht sogar bis zum Kavitätenboden erstrecken.
Um diese Fragestellung zu klären, wurden von uns Querschnitte von einigen der mit Methylenblau angefärbten Füllungen hergestellt und unter dem Stereoauflichtmikroskop betrachtet.

Hierbei ergab sich eine Eindringtiefe des Farbstoffs in den Randspalt von ca. 1,0 - 1,5 mm, die unabhängig von den verwendeten Füllungswerkstoffen und den verschiedenen Kavitätenformen auftrat. In keinem Fall wurde der Kavitätenboden erreicht.

6.4. Schlußbemerkungen

Das von uns untersuchte Verfahren zur Testung von Kunststoffüllungsmaterialien im Vorfeld klinischer Untersuchungen unter möglichst praxisnahen Bedingungen hat sich als praktikabel erwiesen. Die nach einem Untersuchungszeitraum von nur 8 Monaten gewonnenen Ergebnisse erlauben eine Differenzierung zwischen den verschiedenen Materialien.
Inwieweit die gefundenen Ergebnisse allerdings rein klinischen Untersuchungen an natürlichen Zähnen entsprechen werden, könnte nur ein Vergleich, bei dem z. B. parallel Kunststoffüllungen in später zu extrahierende Zähne gelegt werden, die dann nach dem gleichen Vorgehen wie die Prothesenzähne ausgewertet werden könnten, klären. Bei einem solchen Vorgehen ließen sich auch der Einfluß der bei unserem Versuch nicht möglichen Schmelzätzung, vor allem in Bezug auf das Randschlußverhalten, und der höheren Kauleistung natürlicher Zähne, vor allem hinsichtlich des Abrasionsverhaltens, abschätzen.

7. Anhang

7.1. Tabellarische Auswertung der Versuchsergebnisse

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (=100 %).

Patient Nr. I

Zahn	Mat.	Anfangskontrolle			1. Nachkontrolle			2. Nachkontrolle		
okkl.		direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe
34	513	4	12	12	11	18	18	9	23	23
35	con	3	7	7	13	8	15	17	20	25
36	587	1	3	3	13	25	25	23	77	77
44	513	0	0	0	0	0	0	0	5	5
45	587	0	0	0	9	7	9	20	27	30
46	con	6	1	6	13	10	13	10	10	10
bucc.										
34	513	11	14	14	12	16	22	20	25	30
35	con	0	0	0	0	0	0	8	6	8
36	587	0	0	0	12	10	12	35	60	60
44	513	20	50	50	50	50	50	60	50	60
45	587	6	15	15	18	12	18	45	45	45
46	con	2	13	15	8	15	23	0	2	2

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (=100 %).

Patient Nr. II

Zahn	Mat.	Anfangskontrolle			1. Nachkontrolle			2. Nachkontrolle		
okkl.		direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe
34	513	6	0	6	6	0	6	15	33	33
35	587	0	0	0	6	10	12	37	45	45
36	con	2	0	2	10	0	10	12	50	50
44	513	4	0	4	11	0	11	20	28	28
45	con	2	0	2	10	0	10	50	50	50
46	587	0	0	0	8	8	16	55	70	73
bucc.										
34	513	0	0	0	0	0	0	0	3	3
35	587	7	0	7	12	0	12	27	60	60
36	con	0	0	0	0	12	12	0	0	0
44	513	0	0	0	0	0	0	0	20	20
45	con	0	0	0	8	8	16	0	0	0
46	587	37	37	37	37	57	57	45	60	75

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).

Patient Nr. III

Zahn	Mat.	Anfangskontrolle			1. Nachkontrolle			2. Nachkontrolle		
okkl.		direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe
34	con	7	11	18	30	30	40	50	80	80
35	513	11	12	18	30	30	35	55	75	75
36	587	5	12	17	30	45	45	75	100	100
44	587	15	25	25	50	50	60	60	100	100
45	con	4	8	12	20	30	40	55	63	68
46	513	5	30	30	45	40	45	50	75	75
bucc.										
34	con	10	10	10	25	30	30	10	13	13
35	513	12	24	24	50	45	55	30	35	35
36	587	20	100	100	47	47	47	30	35	35
44	587	20	50	50	65	65	65	80	100	100
45	con	10	20	20	10	7	10	10	13	23
46	513	15	48	50	25	20	25	25	15	25

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).

Patient Nr. IV

Zahn	Mat.	Anfangskontrolle			1. Nachuntersuchung			2. Nachuntersuchung		
okkl.		direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe	direkt	ind.	Summe
34	587	13	27	40	25	48	48	100	100	100
35	con	5	10	10	20	18	20	45	52	55
36	587	8	10	10	26	35	40	63	60	63
44	513	5	15	15	13	25	30	55	70	70
45	con	5	8	8	20	33	33	50	48	50
46	513	0	30	30	18	25	25	50	60	60
bucc.										
34	587	8	13	13	22	45	45	45	55	60
35	con	0	0	0	0	8	8	32	0	32
36	587	0	8	8	20	20	20	0	0	0
44	513	2	20	20	22	18	22	25	25	25
45	con	8	10	12	18	18	22	8	0	8
46	513	8	25	25	10	15	18	10	15	18

7.1. Zuordnung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche zu den einzelnen Füllungsmaterialien.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).
Material 587

	Patient	Zahn	Anfangskontrolle direkt	ind.	Summe	1. Nachkontrolle direkt	ind.	Summe	2. Nachkontrolle direkt	ind.	Summe
okkl.	I	36	1	3	3	13	25	25	23	77	77
		45	0	0	0	9	7	9	20	27	30
	II	35	0	0	0	6	10	12	37	45	45
		46	0	0	0	8	8	16	55	70	73
	III	36	5	12	17	30	45	45	75	100	100
		44	15	25	25	50	50	60	60	100	100
	IV	34	13	27	40	25	48	48	100	100	100
		36	8	10	10	26	35	40	63	60	63
bucc.	I	36	0	0	0	12	10	12	35	60	60
		45	6	15	15	18	12	18	45	45	45
	II	35	7	0	7	12	0	12	27	60	60
		46	37	37	37	37	57	57	45	60	75
	III	36	20	100	100	47	47	47	30	35	35
		44	20	50	50	65	65	65	80	100	100
	IV	34	8	13	13	22	45	45	45	55	60
		36	0	8	8	20	20	20	0	0	0

7.1. Zuordnung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche zu den einzelnen Füllungsmaterialien.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).
Material Concise®

	Patient	Zahn	Anfangskontrolle direkt	ind.	Summe	1. Nachkontrolle direkt	ind.	Summe	2. Nachkontrolle direkt	ind.	Summe
okkl.	I	35	3	7	7	13	8	15	17	20	25
		46	6	1	6	13	10	13	10	10	10
	II	36	2	0	2	10	0	10	12	50	50
		45	2	0	2	10	0	10	50	50	50
	III	34	7	11	18	30	30	40	50	80	80
		45	4	8	12	20	30	40	55	63	68
	IV	35	5	10	10	20	18	20	45	52	55
		45	5	8	8	20	33	33	50	48	50
bucc.	I	35	0	0	0	0	0	0	8	6	8
		46	2	13	15	8	15	23	0	2	2
	II	36	0	0	0	0	12	12	0	0	0
		45	0	0	0	8	8	16	0	0	0
	III	34	10	10	10	25	30	30	10	13	13
		45	10	20	20	10	7	10	10	13	23
	IV	35	0	0	0	0	8	8	32	0	32
		45	8	10	12	18	18	22	8	0	8

7.1. Zuordnung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche zu den einzelnen Füllungsmaterialien.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).
Material 513

	Patient	Zahn	Anfangskontrolle direkt	ind.	Summe	1. Nachkontrolle direkt	ind.	Summe	2. Nachkontrolle direkt	ind.	Summe
okkl.	I	34	4	12	12	11	18	18	9	23	23
		44	0	0	0	0	0	0	0	5	5
	II	34	6	0	6	6	0	6	15	33	33
		44	4	0	4	11	0	11	20	28	28
	III	35	11	12	18	30	30	35	55	75	75
		45	4	8	12	20	30	40	55	63	68
	IV	44	5	15	15	13	25	30	55	70	70
		46	0	30	30	18	25	25	50	60	60
bucc.	I	34	11	14	14	12	16	22	20	25	30
		44	20	50	50	50	50	50	60	50	60
	II	34	0	0	0	0	0	0	0	3	3
		44	0	0	0	0	0	0	0	20	20
	III	35	12	24	24	50	45	55	33	30	33
		46	15	48	50	20	20	25	25	15	25
	IV	44	2	20	20	22	18	22	25	25	25
		46	8	25	25	10	15	18	10	15	18

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).
Auswertung des Schlußzustandes nach Einfärben der Füllungen mit Methylenblau.

Patient I

Zahn	Mat.	Randfehler gesamt	hiervon eindeutig Keramikbruch	hiervon eindeutig Füllungsbruch
okkl.				
34	513	75	12	10
35	con	94	12	15
36	587	100	15	4
44	513	75	55	10
45	587	100	15	12
46	con	97	8	20
bucc.				
34	513	55	20	5
35	con	50	1	0
36	587	100	2	2
44	513	100	6	50
45	587	100	25	0
46	con	100	6	3

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).
Auswertung des Schlußzustandes nach Einfärben der Füllungen mit Methylenblau.

Patient II

Zahn	Mat.	Randfehler gesamt	hiervon eindeutig Keramikbruch	hiervon eindeutig Füllungsbruch
okkl.				
34	513	100	10	12
35	587	100	5	3
36	con	100	0	2
44	513	100	8	0
45	con	100	8	20
46	587	100	12	2
bucc.				
34	513	90	0	3
35	587	100	40	0
36	con	Füllung in Verlust	geraten	
44	513	100	6	2
45	con	75	3	2
46	587	100	50	0

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).
Auswertung des Schlußzustandes nach Einfärben der Füllungen mit Methylenblau.

Patient III

Zahn	Mat.	Randfehler gesamt	hiervon eindeutig Keramikbruch	hiervon eindeutig Füllungsbruch
okkl.				
34	con	100	10	0
35	513	100	0	40
36	587	100	6	3
44	587	100	15	0
45	con	100	0	3
46	513	100	12	30
bucc.				
34	con	100	20	0
35	513	70	3	3
36	587	100	8	8
44	587	100	53	0
45	con	75	40	0
46	513	50	10	20

7.1. Zusammenfassung der Randspaltbildungen und Randeinbrüche.
Angaben in % bezogen auf die gesamte Randlänge (= 100 %).
Auswertung des Schlußzustandes nach Einfärben der Füllungen mit Methylenblau.

Patient IV

Zahn	Mat.	Randfehler gesamt	hiervon eindeutig Keramikbruch	hiervon eindeutig Füllungsbruch
okkl.				
34	587	100	12	28
35	con	85	0	40
36	587	100	3	6
44	513	100	15	15
45	con	100	4	8
46	513	100	23	8
bucc.				
34	587	100	0	12
35	con	75	0	0
36	587	100	0	0
44	513	100	20	3
45	con	6	5	0
46	513	85	3	7

7.1. Durchschnittlicher Randfehler der einzelnen Füllungsmaterialien in % bezogen auf die gesamte Randlänge.

Mat.	Lage	Anfangsbefund	1. Nachkontrolle	2. Nachkontrolle
Concise®	okklusal	8,1	25,1	48,5
	buccal	7,1	16,4	12,0
513	okklusal	12,1	20,6	45,3
	buccal	22,8	24,0	25,5
587	okklusal	11,9	31,6	73,5
	buccal	28,8	34,5	54,4

7.1. Gegenüber dem Anfangsbefund neu aufgetretene Randfehler in % bezogen auf die gesamte Randlänge.
Summarische Wertung.

Mat.	Lage	1. Nachkontrolle	2. Nachkontrolle
Concise®	okklusal	17,0	40,4
	buccal	9,3	4,9
513	okklusal	8,5	33,2
	buccal	1,2	2,8
587	okklusal	19,7	61,6
	buccal	5,7	25,6

7.2. Beispiele zur fotografischen Dokumentation

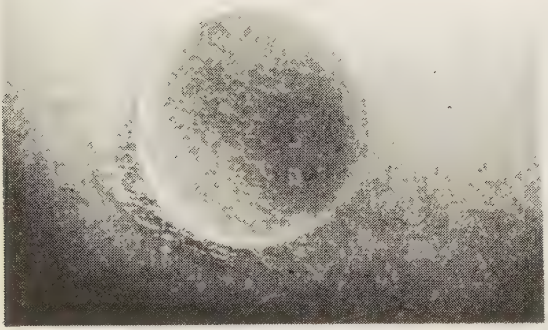


Bild 1:
Füllung 34 buccal
Vergrößerung: ca. 20 x

Bild 2:
Füllung 44 okklusal
Vergrößerung: ca. 20 x

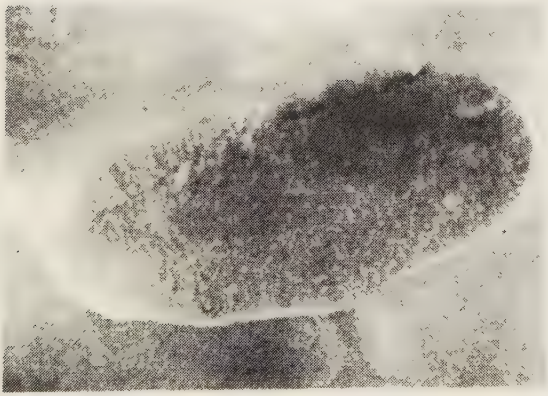


Bild 3:
Füllung 36 okklusal
Vergrößerung: ca. 20 x

Bild 4:
Füllung 36 okklusal
Vergrößerung: ca. 30 x
Material: 587

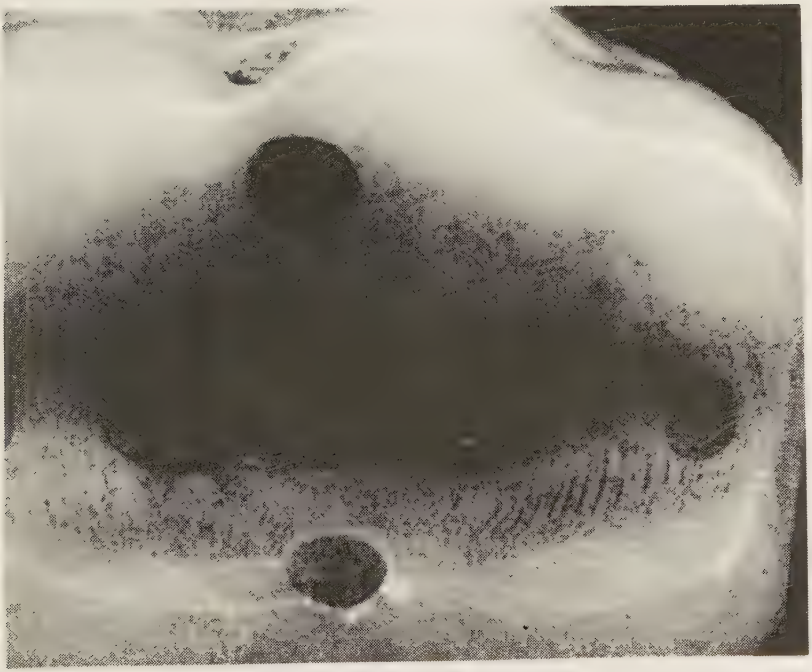
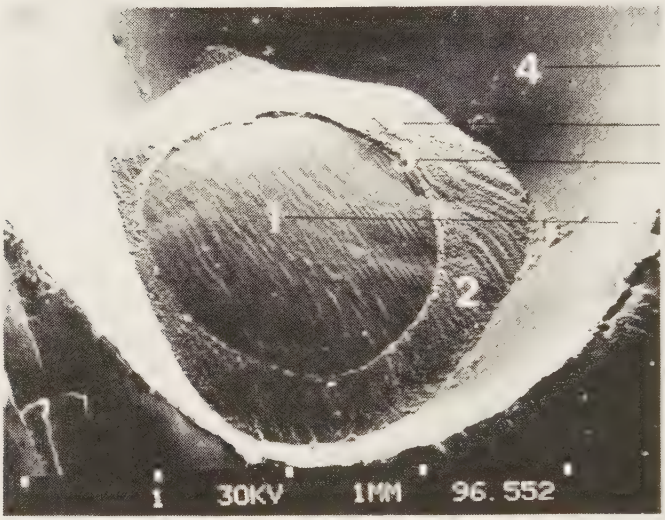


Bild 5:
Füllung 46 okklusal
Vergrößerung: ca. 20 x
Material: Concise^{R}
Beachte: Mit Methylenblau angefärbte Beläge
(siehe 6.3. S. 57)

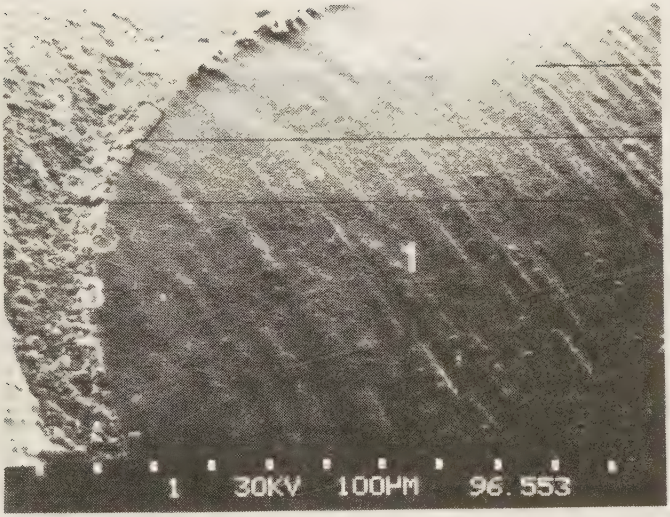
7.3. Beispiele zur elektronenmikroskopischen Dokumentation



Vergrößerung: ca. 25 x Abb. 1

Zahn 34, Füllung buccal, Material D 587

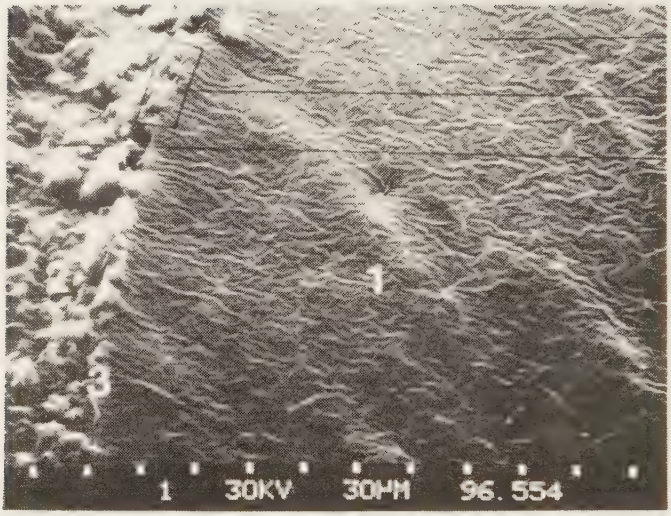
1. Füllungsoberfläche
2. Mit Finierdiamant bearbeitete Keramik
3. Füllungsrandbereich
4. Glanzgebrannte Keramikoberfläche



Vergrößerung: ca. 100 x Abb. 2
Ausschnitt aus Abb. 1

Zahn 34, Füllung buccal, Material D 587

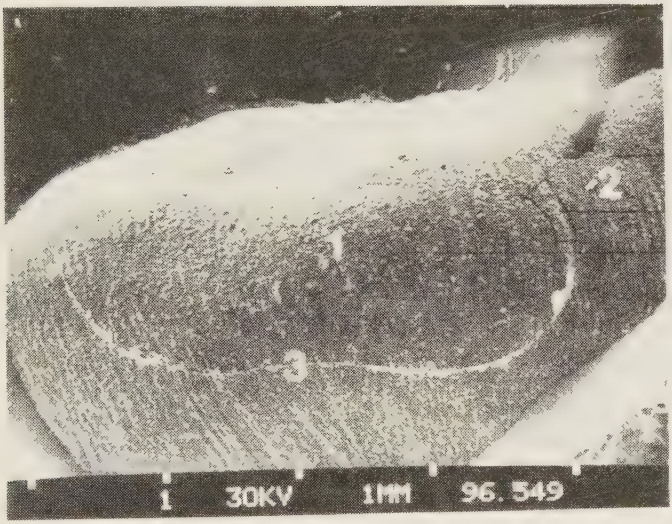
1. Füllungsoberfläche
2. Mit Finierdiamant bearbeitete Keramik
3. Füllungsrandbereich



Vergrößerung: ca. 350 x Abb. 3
Ausschnitt aus Abb. 2

Zahn 34, Füllung buccal, Material D 587

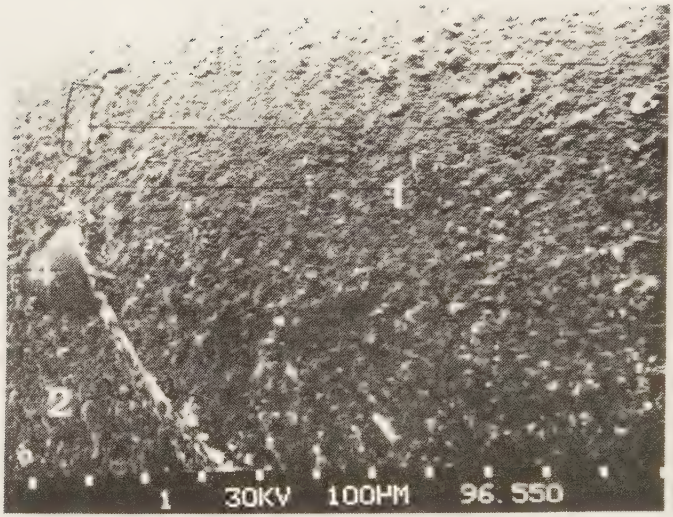
1. Füllungsoberfläche
2. Mit Finierdiamant bearbeitete Keramik
3. Füllungsrandbereich



Vergrößerung: ca. 25 x Abb. 4

Zahn 36, Füllung okklusal, Material Concise®

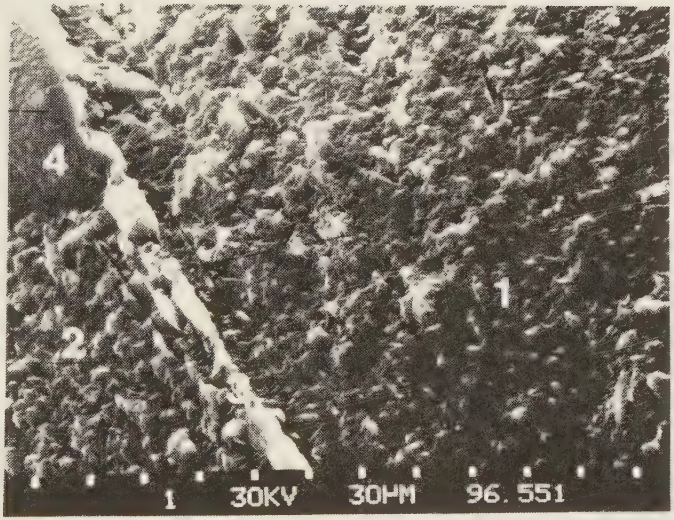
1. Füllungsoberfläche
2. Mit Finierdiamant bearbeitete Keramik
3. Füllungsrandbereich



Vergrößerung: ca. 100 x Abb. 5
Ausschnitt aus Abb. 4

Zahn 36, Füllung okklusal, Material Concise^{R}

1. Füllungsoberfläche
2. Mit Finierdiamant bearbeitete Keramik
3. Füllungsrandbereich
4. Beim Ausarbeiten nicht erfaßter Bereich mit glanzgebrannter Keramik in einer Fissur

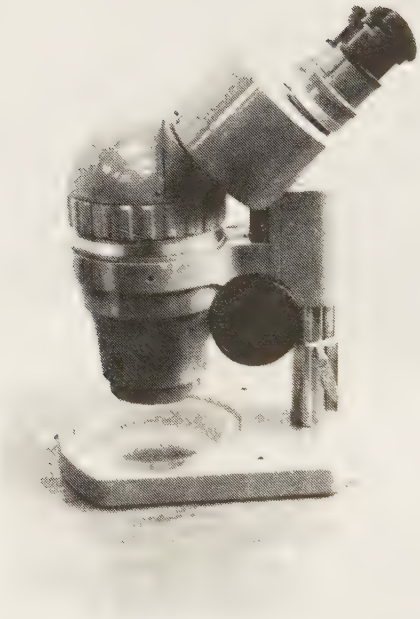


Vergrößerung: ca. 350 x Abb. 6
Ausschnitt aus Abb. 5

Zahn 36, Füllung okklusal, Material Concise^{R}

1. Füllungsoberfläche
2. Mit Finierdiamant bearbeitete Keramik
3. Füllungsrandbereich
4. Beim Ausarbeiten nicht erfaßter Bereich mit glanzgebrannter Keramik in einer Fissur

7.4. Stereoauflichtmikroskop



Olympus,Tokio
Nr.210830

7.5. Versuchsprotokoll zur Dokumentation (mit Erläuterungen)

Versuchsprotokoll

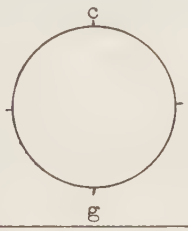
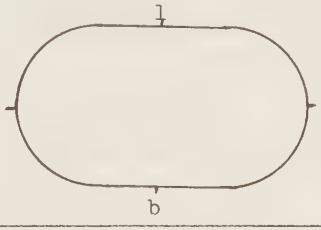
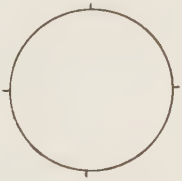
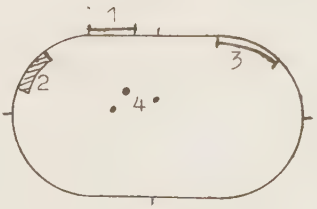
Name des Patienten: Patient Nr.:

Zahn: Lokalisation der Füllung:

Füllungsmaterial: Füllung gelegt am:

Anfangskontrolle: 1. Nachkontrolle:

2. Nachkontrolle:

Stereomikroskop direkt  	Stereomikroskop direkt 
Stereomikroskop indirekt 	Stereomikroskop indirekt 

Erläuterungen siehe nächste Seite

7.5. Erläuterungen zum Versuchsprotokoll

1 = grafische Darstellung der Ausdehnung von Bereichen, in denen leichte Keramikabsplitterungen am Kavitätenrand festzustellen waren.

2 = grafische Darstellung der Ausdehnung von Bereichen, in denen ein Materialverlust der Füllung im Randbereich (Randbrüche) erkennbar war.

3 = grafische Darstellung der Ausdehnung von Bereichen, in denen ein Spalt zwischen Kavitätenwand und Füllungsmaterial feststellbar war, der in seiner Ursache nicht eindeutig auf Randabsplitterungen der Keramik oder Materialverluste der Füllung im Randbereich zurückgeführt werden konnte.

4 = grafische Darstellung der ungefähren Ausdehnung und Verteilung von Poren und Löchern in der Füllungsoberfläche.

7.6. Randomliste für Kunststoffüllungen

Patient	Füllung					
	46	45	44	34	35	36
I	con	587	513	513	con	587
II	587	con	513	513	587	con
III	513	con	587	con	513	587
IV	513	con	513	587	con	587

8. Literaturverzeichnis

1. Amstrong, W. D. / Simon, W. I. : Penetration of radiocalcium at the margins of filling materials: a prelaminary report. J. Amer.dent.Ass. 43, 684, 1951

2. Asmussen, E. : Marginal adaptation of restorative resins in acid etched cavities. Acta Odontol Scand. 35, 125, 1977

3. Asmussen, E. : A microscopic investigation of the adaptation of some plastic filling materials to dental cavity walls. Acta Odontol.Scand. 30, 3, 1972

4. Asmussen, E. : Optische Eigenschaften von Kunststoffüllungsmaterialien in "Füllungswerkstoffe auf Kunststoffbasis" Bayer Dental, Leverkusen, 1982

5. Bartenstein, U. / Finger, W. : Bestimmung der Oberflächengüte von Composite-Füllungsmaterialien. Dtsch.Z.Z. 29, 276, 1974

6. Beasley, P. R. N. / Makinson, O. F. / Rohr, M. W. : Airbubbles in mixes of composite resins. J.Dent. Res. 55, 528, Abstr. 46, 1976

7. Benedix, K. P. / Bock, J. P. : Möglichkeiten zur Untersuchung von Füllungsmaterialien unter klinischen Bedingungen am Beispiel des Amalgams. Zahnmed.Diss., Düsseldorf, 1982

8. Bergvall, O. / Brännström : The effect of tooth brushing and removal of excess filling on the surface of composite restorative resins. Svensk tandläk.-T., 347, 1971

9. Bow, P. : The use of composite restorative materials in dental practice. J.Dent.Assoc.S.Afr. 31, 449, 1976

10. Bowen, R. L. : Properties of a silicia-reinforced polymer for dental restorations. J.Am.Dent.Ass. 66, 57, 1963

11. Brauer, G. : The present state and future of macromolecules for dental applications. Polym.-Plast.Technolog.Eng., 9 (1) 87-121, 1977

12. Buchanan, G. A. : Resistance of self-curing acrylic resin to the passage of dye between filling an cavity wall. J.Canad.dent.Ass. 17, 131, 1951

13. Butler, M. F. / Ward, R. B. / Eames, W. B. : Surfaces of filled resins produced by several finishing techniques. JADR,Abstr.No. 160, 1971

14. Castagnola, L. : Experimentelle Untersuchungen über im Munde selbst polymerisierende Kunststoffüllungen. Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 60, 880, 1950

15. Castagnola, L. / Wirz, J. / Farberoglio : Die Schmelzätzung für die konservierende Zahnbehandlung. Schweiz.Mschr.Zahnh. 85, 975, 1975

16. Castagnola, L. / Wirz, J. : Anwendungsbereich der Silberamalgame und Compositematerialien für Klasse-II-Füllungen. Zahnärztl.Praxis. 28, 496, 1977

17. Chandler, H. H. / Bowen, R. L. / Paffenbarger, G.C. : Methods for finishing composite restorative materials. J.Amer.dent.Ass. 83, 344, 1971

18. Clajus, C. / Schubert, F. : Entwicklung einer klinischen Prüfung des Randbruchverhaltens von Amalgamfüllungen in Prothesenzähnen. Zahnmed.Diss., Düsseldorf, 1983

19. Composite-Compendium : DMG Dental-Material-Gesellschaft, 1975

20. Cvar, J. F. / Ryge, G. : Criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. Dental Health Center, San Franzisco, Government Printing Office, Publication No. 790-224, 1971

21. Dickson, G. : Physical and chemical properties and wear. J.Dent.Res. 58, 1535, 1979

22. Eames, W. B. / O'Neal, S. J. / Rogers, L. B. : Composite plain talk. J.Am.Dent.Ass. 92, 550, 1976

23. Eliasson, S. T. : Effect of time of finish on sealing ability of composites. IADR 56 A, Abstr. 533, 1977

24. Eriksen, H. M. : A clinical evaluation of silicate and composite restorations after 3 years of use. J.oral.Rehabil. 1, 317, 1974

25. Finger, W. : Festigkeitsuntersuchungen an Composite-Füllungsmaterialien. SSO 84, 1311, 1974

26. Finger, W. : Die Wärmeausdehnung von Composite-Füllungsmaterialien und ihre klinische Bedeutung. Schweiz.Mschr.Zahnh. 84, 630, 1974

27. Finger. W. / Jørgensen, K. D. : Polymerisationsinhibition durch Sauerstoff bei Kompositfüllungsmaterialien und Schmelzversieglern. Schweiz.Mschr.Zahnh. 86, 812, 1976

28. Finger, W. : Vor- und Nachteile verschiedener Darbietungsformen von Kunststoffüllungsmaterialien. In "Füllungswerkstoffe auf Kunststoffbasis", Bayer Dental, Leverkusen, 186, 1982

29. Glantz, P. O. / Larsson, L. A. : Surface roughness of composite resins before and after finishing. Acta odont.scand. 30, 355, 1972

30. Going, R. E. / Massler, M. : Marginal penetration of dental restorations by different radioactive isotopes. J.dent.Res. 39, 273, 1960

31. Going, R. E. / Sawinski, V. J. : Microleakage of a new restorative material. J.Amer.dent.Ass. 73, 107, 1966

32. Gotfredsen, C. : Physical properties of a plastic filling material. Acta. odont.scand. 27, 595, 1969

33. Groß, A. : Kunststoffe in der Zahnmedizin. Chemie in unserer Zeit 13, 142, 1979

34. Hirsch, L. / Weinreb, M. M. : Marginal fit of direct acrylic restoration. J.Amer.dent.Ass. 56, 13-21, 1958

35. Hollenback, G.M. et al.: A report on the physical properties of a new restorative material (Addent). J.South.Calif.dent.Ass. 34, 250, 1966

36. Hord, A. B. : Current status of class II composite resin restorations. Ont.Dent. 52, 13, 1975

37. Hotz, P. : Die Abrasion von Composites SSO 85, 253, 1975

38. Johnson, L. N. / Jordan, R. E. / Lynn, J.-A. : Effects of various finishing devices on resin surfaces. J.Amer.dent.Ass. 83, 321, 1971

39. Jørgensen, K. D. / Asmussen, E. : Occlusal abrasion of a composite restorative resin with ultra-fine filler - an initial study. Quintess.Int. 6, 73, Report VIII/1646, 1978

40. Jørgensen, K. D. : Restorative resins: abrasion vs. mechanical properties. Scand.J.Dent.Res. 1980, 88, 557

41. Joris, L. / Moskowitz, H. Vincent, G. R. : Microstructural studies of composite resin systems. AADR 54 A, Abstract 14, 1975

42. Koeck, B. : Experimentelle Untersuchungen über die Oberflächenbearbeitung des neuen Kunststoffüllmaterials Palakav. Dtsch.Zahnärztebl. 24, 347, 1970

43. Kopel, H. M. / Thanos, C. : An S.E.M. study of various methods of finishing microfilled composite restoratives. AADR 59 A, Abstr. 212, 1980

44. Körber, K. / Ludwig, K. : Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie. Thieme, 1982

45. Kusy, R. P. / Leinfelder, K. F. : Pattern of wear in posterior composite restorations. J.Dent.Res. 56, 544, 1977

46. Lambrechts, P. / Vanherle, G. : Conventional and microfilled composites. Part I. Color stability and marginal adaptation. J.Prosth.Dent. 46, 623, 1981

47. Lambrechts, P. / Vanherle, G. / Carels, C. : Vergleich von konventionellen und Mikrofüller-Composites. Part II Marginal Adaptation and Retention of Composite resins. Aus: Füllungswerkstoffe auf Kunststoffbasis Bayer Dental, Leverkusen, 131, 1982

48. Lee, H.L.Jr. et al. : Physical properties of four thermosetting dental restorative resins. J.Dent.Res. 48, 526, 1969

49. Lee, H.L.Jr. et al. : Evaluation of wear resistance of dental restorative materials. Advances in polymer friction and wear. 5 B, 705-722, 1974

50. Lee, B. D. / Orlowski, J. A. : Handbook of dental composite restoratives. Lee Pharmaceuticals, South el Monte, Los Angeles County, 1974

51. Lee, H. L. / Orlowski, J. A. : Differences in the physical properties of composite dental restoratives. J.Oral.Rehabil. 4, 227, 1977

52. Leinfelder, K. F. / Sluder, T. B. / Sockwell, C. L. / Strickland, W. D. / Wall, I. T. : Clinical evaluation of composite resins as anterior and posterior restorative materials. J.Prosthet.Dent. 33, 407, 1975

53. Lugassy, A. / Greener, E. H. : An abrasion resistance study of some dental resins. J.dent.Res. 51, 967, 1972

54. Lui, J. L. : The finish of the new microfill restorative materials. SEM study. Proc.AsianPacific Dent.Con. 9, 152, 1979

55. Lutz, F. / Lüscher, B. / Ochsenbein, H. / Mühlemann, H. R. : Adhäsive Zahnheilkunde. ISBN 3 260 04047 1, Juris Druck und Verlag, Zürich, 1976

56. Lutz, F. : Beiträge zur Entwicklung von Seitenzahn-Composites. KarPar PZM, Zürich, 1980

57. McCurdy, C. R. et al. : A comparison of in vivo and in vitro mikroleakage of dental restorations. J.Amer.dent.Ass. 88, 592, 1974

58. Meier, Ch. : Eine Methode zur Bestimmung der Verschleißfestigkeit von Füllungsmaterialien in vivo. Zahnmed.Diss., Zürich, 1977

59. Meier, Ch. / Lutz, F. : Vergleichende Verschleißfestigkeits messungen in vivo zwischen Amalgam und Komposit. Dtsch.Z.Z. 35, 489, 1980

60. Meiners, H. / Vahl. J. / Weisshaar, A. : Elektronenmikroskopische Oberflächenuntersuchungen von Putzeffekten an Kunststoffüllungen. Dtsch.Z.Z. 29, 450, 1974

61. Moffa, J. P. / Jenkins, W. A. : Four year posterior clinical evaluation of two composite resins. AADR 54 A, Abstr. 13, 1975

62. Morris, M. E. / Barkin, P. R. / Soelberg, K. B. / Weis, R. W. : Complex primary molar restoration using a composite resin. A 42-month study using amalgam as comparative material. CDA J 7, 39, 1979

63. Nelsen, R. J. et al. : Fluid exchange at the margins of dental restorations. J.Amer.dent.Ass. 44, 288, 1952

64. Nuckles, D. B. / Fingar, W. W. : Six month and one year clinical evaluation of a composite resin for class II restorations. J.Amer.dent.Ass. 91, 1017, 1975

65. O'Brien, W. J. / Yee, J. : Surface structure of class II composite restorations after clinical wear. IADR 58 A, Abstr. 842, 1979

66. O'Neal, S. J. / Eames, W. B. : A comparison of three abrasion test methods. IADR, Abstr., J.dent.Res. 52, 26,1973

67. Osborne, J. W. / Gale, E. N. / Ferguson, G. W. : One-year and two-year clinical evaluation of a composite resin versus amalgam. J. Prosthet.Dent. 30, 795, 1973

68. Peterson, A. E. et al.: A comparison of the physical properties of four restorative resins. J.Amer.dent.Ass. 73, 1324, 1966

69. Phillips, R. W. et al.: Adaptation of restorations in vivo as assessed by ^{45}Ca. J. Amer.dent.Ass. 62, 9, 1961

70. Phillips, R. W. et al.: One-year observations on a composite resin for class II restorations, J.Prosthet.Dent. 26, 68, 1971

71. Phillips, R. W. / Avery, D. R. / Mehra, R. / Swartz, M. L. / McCune, R. J. : Observations on a composite resin for class II restorations: Two year report. J.Prosthet.Dent., 28, 164, 1972

72. Phillips, R. W. et al.: Observations on a composite resin for class II restorations: Three year report. J.Prosthet.Dent. 30, 891, 1973

73. Phillips, R. W. : Should I be using amalgam or composite restorative materials? Int.Dent.J. 25, 236, 1975

74. Powell, J. M. : Wear response of composite resin and amalgam to enamel in vitro. Indiana University, School of dentistry, 1972

75. Powers, J. M. et al. : Two body abrasion of commercial and experimental restorative and coating resins and an amalgam. J.Amer.dent.Ass. 89, 1118, 1974

76. Ramfjord, S. P. / Berry, H. M. / Charbeneau, G. T./ Lee, R. E. / Pavone, B. W. / Phillips, R. W. : Report of the commitee on scientific investigations of the American Academy of Restorative Dentistry. J.Prosthet.Dent. 32, 198, 1974

77. Rehberg, H. J. : Composite Filling Materials. Zahnärzt. Mitt. 4, 159, 1973

78. Rehberg, H. J. : Ein Überblick über die werkstoffkundlichen Grundlagen der Composite-Füllungsmaterialien. Zahnäzt. Mitt. 68, 1191, 1978

79. Rehberg, H. J. : Die klinische Prüfung von Füllungsmaterialien und das Arzneimittelgesetz . In "Füllungswerkstoffe auf Kunststoffbasis". Bayer Dental, Leverkusen 1982

80. Reinhardt, K. J. / Vahl, J. : Ein rasterelektronenmikroskopischer Nachweis der Eindringtiefe von Schmelzadhäsiven in geätztem Zahnschmelz. Dtsch.Z.Z. 34, 403, 1979

81. Riethe, P. et al. : Klinische und experimentelle Nachuntersuchungen von Mikrofüller-Composites auf ihre Verwendbarkeit im Seitenzahnbereich. Bayer Dental, Leverkusen, 80, 1982

82. Roulet, J. F. / Reng, R. : Das Problem des Randschlusses bei Kunststoffüllungen. SMfZ/RMSO Vol. 85, Nr. 10, 1039, 1975

83. Roulet, J. F. : Die Abrasion von Komposits. SMfZ/RMSO, Vol. 86, Nr. 4 S. 413, 1976

84. Roulet, J. F. : Ein klinischer Vergleich dreier Komposits mit Amalgam im Seitenzahnbereich. ZWR 86, 1055, 1977

85. Roulet, J. F. / Mettler, P. / Friedrich, U. : Die Abrasion von Amalgam und Komposits im Seitenzahnbereich. Dtsch.Z.Z. 33, 206, 1978

86. Roulet, J. F. / Mettler, P. / Friedrich, U. : Ein klinischer Vergleich dreier Komposits mit Amalgam für Klasse II Füllungen unter besonderer Berücksichtigung der Abrasion. Resultate nach 2 Jahren. SSO 90, 18, 1980

87. Roulet, J. F. / Mettler, P. / Friedrich, U. : Studie über die Abrasion von Komposits im Seitenzahnbereich. Resultate nach 3 Jahren. Dtsch.Z.Z. 35, 493, 1980

88. Ruyter, I. E. : Monomer composition of dental composites and sealants. J.Dent.Res. 1978, Vol. 57 A, Abstr.No. 700, pp..249, 1978

89. Sausen, R. E. et al. : Penetration of radiocalcium at margins of acrylic restorations made by compression and no-compression techniques. J.Amer.dent.Ass. 47, 636, 1953

90. Schroeder, A. : Stand der Erfahrungen auf dem Gebiet der neuen Kunststoff-Kompositionsmaterialien auf der Basis der Bowen-Formel. SSO 81, 999, 1971

91. Schroeder, A. : Les Composites, un progrès rèel? Chir.-dent. France 30, 51, 1974

92. Seltzer, S. : The penetration of microorganisms between the tooth and direct resin fillings. J.Amer.dent.Ass. 51, 560, 1955

93. Shell, J. S. et al. : Comparative abrasion rates on restorative materials. Acta odont.scand. 27, 595, 1969

94. Silverstone, L. : The acid etch technique. In vitro studies with special reference to the enamel surface and the enamel-resin interface. In: Silverstone et al., The acid etch technique. Proc.Int.Symp.AcidEtch.Tech., North Central Publishing Co., St.Paul, Minnessota, 1975

95. Sounder, W. / Paffenbarger, G. C. : Physical properties of dental materials. National Bureau of Standards, Washington, 1942

96. Tani, Y. / Buonocore, M. G. : Marginal leakage and penetration of basic fuchsin dye in anterior restorative materials. J. Amer.dent.Ass. 78, 542, 1969

97. Tary, B. G. / Pameijer, C. H. : Microwear of composite resins: An in vivo study. IADR 57 A, Abstr. 503, 1978

98. Tay, W. M. et al. : An assessment of anterior restorations in vivo using the scanning electron microscope. Brit.dent.J. 137, 463, 1974

99. Viohl, J. : Werkstoffkundliche Untersuchungen der Wasseraufnahme und Biegefestigkeit von Kunststoffüllungsmaterialien. Dtsch.Z.Z. 29, 442, 1974

100. Viohl, J. : Spezifikationsprüfungen für Kunststoff-Füllungswerkstoffe. In Füllungswerkstoffe auf Kunststoffbasis, Bayer, Dental, Leverk., 1982

101. Weber, H. : Klinische und experimentelle Untersuchungen zur Frage der Abrasionsfestigkeit von Isosit unter besonderer Berücksichtigung der Problematik der Abrasionstestung (I u. II). I: Quintess. 1, 117 Ref.VIII/6035, II: Quintess. 2, 123 Ref.VIII/6035, 1980

102. Williams, D. F. : Priorities in dental materials research.
Br.dent.J. 148, 215, 1980

Die vorliegenden Untersuchungen wurden auf Anregung von Herrn Prof. Dr. med. dent. Hans-Joachim Rehberg durchgeführt. Ihm sind wir für die Überlassung des Themas und seine verständnisvolle Unterstützung zu Dank verpflichtet.

Herrn Prof. Dr. med. dent. Hermann Böttger danken wir für die Erlaubnis, unsere Untersuchungen an der prothetischen Abteilung der Westdeutschen Kieferklinik, Düsseldorf, durchführen zu können.

Den Mitarbeitern der dentalwissenschaftlichen Abteilung der Bayer AG, Leverkusen, danken wir für bereitwillige Hilfestellung im experimentellen Teil der Arbeit.

Der Firma Hager & Meisinger, Düsseldorf, danken wir für die kostenlose Bereitstellung der benötigten Präparierdiamanten.

Den an den Untersuchungen beteiligten Patienten danken wir für ihre bereitwillige Mitarbeit.

Lebenslauf

Am 23.12.1958 wurde ich, Wolfgang Benninghoff, als zweites Kind des kaufm. Angestellten Heinrich Benninghoff und seiner Ehefrau Anneliese, geb. Kaspers, in Oberhausen-Sterkrade geboren.

Von 1965 bis 1969 besuchte ich die evangelische Grundschule in Sterkrade. Anschließend wechselte ich auf das Freiherr-vom-Stein-Gymnasium in Sterkrade, an dem ich 1977 das Abitur bestand.

Zum Wintersemester 1977/78 immatrikulierte ich mich an der Universität Düsseldorf für den Studiengang Zahnmedizin, den ich im Sommersemester 1982 mit dem Staatsexamen abschloß.

Seit dem 03.01.1983 leiste ich meinen Grundwehrdienst in einer Zahnarztgruppe der Bundeswehr in Flensburg ab.

Wolfgang Benn

Lebenslauf

Am 05.09.1957 wurde ich in Bad Kreuznach/RhldPflz geboren.

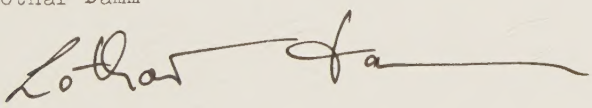
Von Ostern 1964 bis März 1966 besuchte ich die St.-Josef-Schule in Weeze-Baal/NRW. Anschließend bis zum Juli 1967 die Matthias-Claudius-Schule in Weeze/NRW. Im Anschluß an die Sommerferien besuchte ich das Städt. Neuspr. Gymnasium in Goch/NRW bis zum 30.06.1971, anschließend bis zur Ablegung der Reifeprüfung am 03.06.1976 das Städt. Neuspr. Gymnasium in Dülken/NRW.

Vom 01.06.1976 bis zum 30.09.1977 leistete ich meinen Wehrdienst beim 1. Panzerbataillon 333 in Lingen/Ems.

Seit dem Wintersemester 1977 studierte ich Zahnmedizin an der Universität Düsseldorf mit Ablegung des Vorphysikums am 25.08.1978 und des Physikums am 01.04.1980. Im Oktober 1982 legte ich vor dem Prüfungsausschuß der Universität Düsseldorf mein zahnärztliches Staatsexamen ab.

Seit Februar diesen Jahres arbeite ich als Assistenzzahnarzt in der Praxis von Herrn Dr. Helmut Koch, Lobberich.

Lothar Damm



Druck und Verarbeitung: copy shop, darmstadt, tel. 21353